

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|---|
| Регулируемый электропривод клиновой задвижки, на основе ТРН-АД |

УДК 621.316.722:62-83-523

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---------|--------------------------------|---------|------|
| З-5Г4Б1 | Новосельцев Вадим Владимирович | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Кладиев С. Н. | к.т.н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Мелик-Гайказян М.В. | к.э.н., доцент | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Гуляев М.В. | | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------------------|-----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Ивашутенко А.С. | к.т.н. | | |

Планируемые результаты обучения по ООП

| Код результата | Результат обучения |
|----------------|--|
| Р 1 | Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i> |
| Р 2 | Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов. |
| Р 3 | Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i> |
| Р 4 | Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы. |
| Р 5 | Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i> |
| Р 6 | Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях. |
| Р 7 | Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> |
| Р 8 | Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники.</i> |
| Р 9 | Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i> |
| Р 10 | Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности. |
| Р 11 | Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности. |
| Р 12 | Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i> |

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Ивашутенко

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|----------------------------|
| Бакалаврской работы |
|----------------------------|

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО |
|---------|-----------------------------------|
| 3-5Г4Б1 | Новосельцеву Вадиму Владимировичу |

Тема работы:

| | |
|---|-------------------------|
| Регулируемый электропривод клиновой задвижки, на основе ТРН-АД | |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | № 3483/с от 06.05.2019г |

| | |
|--|--------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 31.05.2019г. |
|--|--------------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|---|
| Исходные данные к работе | Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации на задвижку |
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов | Подробное изучение технологического процесса, выбор двигателя, частотного преобразователя, исследование динамической модели АД во вращающейся системе координат, исследование ТРН на модели нелинейного асинхронного электропривода на базе модели АД во вращающейся системе координат. |

| | |
|---|---|
| Перечень графического материала | Кинематическая схема Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода Структурная схема ТРН Схема имитационной модели электропривода Переходные процессы асинхронного электропривода. |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы | |
| Раздел | Консультант |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Мелик-Гайказян Мария Вигеновна |
| Социальная ответственность | Гуляев Милий Всеволодович |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | |
| Заключение | |

| | |
|---|---------------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | 05.04.2019г.. |
|---|---------------|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|------------------------|---------|--------------|
| Доцент | Кладиев С. Н. | к.т.н. | | 05.04.2019г. |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---------|--------------------------------|---------|--------------|
| 3-5Г4Б1 | Новосельцев Вадим Владимирович | | 05.04.2019г. |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

| |
|---------------------|
| Бакалаврская работа |
|---------------------|

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

| | |
|--|--------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 31.05.2019г. |
|--|--------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 23.05.2019 | Основная часть | 60 |
| 15.05.2019 | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 20 |
| 17.05.2019 | Социальная ответственность | 20 |

СОСТАВИЛ:

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Кладиев С. Н. | к.т.н. | | |

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Ивашутенко А.С. | к.т.н. | | |

Реферат

Выпускная квалификационная работа 110 с., 40 рисунка, 13 таблиц, 33 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, тиристорный регулятор напряжения, динамические режимы работы, задвижка, нефтепровод.

Объектом исследования является система «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель».

Цель работы – исследование динамических режимов работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

В процессе работы проводилось моделирование переходных процессов асинхронного двигателя в программной среде MATLABSimulink.

В результате работы была смоделирована система «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель», реализованы режимы пуска и динамического торможения и проанализированы графики переходных процессов.

Исследуемая система используется в качестве электропривода клиновой задвижки, устанавливаемой на магистральном нефтепроводе.

Экономическая эффективность заключается в значительном повышении ресурса механизма и электрической части электропривода.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007.

Содержание.

| | |
|--|----|
| Введение..... | 9 |
| 1. Технологический процесс перекачки нефти | 12 |
| 1.1. Описание технологического процесса перекачки нефти..... | 12 |
| 1.2. Обзор задвижек | 13 |
| 1.3. Обзор электрических преобразователей для электроприводов задвижек ... | 17 |
| 1.4. Принцип действия тиристорного преобразователя..... | 23 |
| 2. Выбор электропривода и расчет его оборудования | 28 |
| 2.1. Исходные данные | 28 |
| 2.2 Характеристики электропривода..... | 29 |
| 2.2.1. Технические характеристики ЭПЦ-15000 | 29 |
| 2.2.2. Состав электропривода..... | 31 |
| 2.2.3. Порядок работы изделия в автоматическом режиме от электродвигателя..... | 31 |
| 2.4. Расчет статических характеристик электродвигателя..... | 39 |
| 3. Имитационная модель ТРН – АД | 41 |
| 3.1. Математическое описание асинхронного двигателя..... | 41 |
| 3.2. Моделирование АД на основе стандартных блоков MATLAB Simulink..... | 54 |
| 3.4. Тиристорный регулятор напряжения..... | 68 |
| 4. Исследование динамических режимов ТРН – АД..... | 73 |
| 4.1. Динамическое торможение | 73 |
| ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» | 78 |
| 5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ..... | 79 |
| 5.1. SWOT-анализ работы регулируемого электропривода клиновой задвижки, на основе ТРН-АД..... | 79 |
| 5.2. Организация работ технического проекта (ТП)..... | 82 |
| 5.2.1 Структура работ в рамках технического проекта..... | 82 |
| 5.2.2. Определение трудоемкости выполнения ТП | 84 |
| 5.2.3. Порядок составления этапов подготовки производства и распределение исполнителей | 85 |
| 5.2.4. Разработка графика проведения технического проекта..... | 86 |
| 5.3 Расчёт затрат на осуществление технического проекта | 88 |
| 5.3.1 Расчет материальных затрат технического проекта..... | 88 |

| | |
|---|-----|
| 5.3.2 Полная заработная плата исполнителей темы | 89 |
| 5.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)..... | 91 |
| 5.3.4 Накладные расходы..... | 91 |
| 5.3.5 Формирование сметы затрат технического проекта | 91 |
| 5.3.6. Определение ресурсоэффективности проекта | 92 |
| ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»..... | 95 |
| 6 Социальная ответственность | 96 |
| 6.1.Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 96 |
| 6.2 Производственная безопасность..... | 97 |
| 6.2.1. Анализ выявленных опасных факторов..... | 97 |
| 6.2.2 Анализ выявленных вредных факторов..... | 99 |
| 6.3 Экологическая безопасность | 101 |
| 6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 102 |
| 6.4.1.Пожаро- взрывобезопасность | 102 |
| Заключение | 104 |
| Список используемой литературы | 106 |
| Приложение А | 109 |
| Приложение Б | 110 |

Введение

Нефтепромысел — технологический комплекс, предназначенный для добычи и сбора нефти на месторождении, а также обработки продукции скважин (нефти, нефтяного газа, пластовой воды) с целью подготовки её к дальнейшему транспортированию потребителям (нефтегазоперерабатывающим заводам и др.). Сооружения и коммуникации нефтяного промысла подразделяются на основные (эксплуатационные нагнетательные и контрольные скважины, трубопроводы, насосные и газокompректорные станции, установки подготовки нефти и воды, резервуарные парки и др.) и вспомогательные (объекты энерго- и водоснабжения, канализации и связи, механические мастерские, транспортную сеть и др.).

Количество нефтяных скважин зависит в основном от размеров месторождения, схемы его разработки и изменяется от нескольких десятков до нескольких сотен. В зависимости от выбранной системы заводнения на площади месторождения эксплуатационные скважины располагаются кустами из 3-12 (иногда до 50-80) скважин. Начальные дебиты эксплуатационных скважин изменяются примерно от 1 до 200 т в сутки. Эффективность работы нефтяного промысла определяется, главным образом, выбранной при обустройстве месторождения технологической схемой внутрипромыслового сбора продукции скважин. Применяется несколько схем, характеризующихся полной герметизацией процесса сбора нефти от каждой скважины до промыслового пункта сбора продукции всех скважин, доставки продукции до центрального пункта сбора (ЦПС) нефти и газа, что сводит к минимуму потери продукции и исключает загрязнение окружающей среды.

Продукция скважин по трубопроводу поступает на групповую замерную установку (ГЗУ), где по каждой скважине периодически замеряют количество поступающей из неё нефти, определяют содержание в последней воды и нефтяного газа. По замерам подсчитывают суточный дебит каждой скважины по нефти и по газу. Затем нефть направляется в зависимости от размеров

месторождения на дожимную насосную станцию (ДНС). ДНС применяются при значительной удалённости ГЗУ от центрального пункта сбора и предназначаются для создания дополнительного напора в системе внутрипромыслового транспорта. Кроме того, здесь осуществляется первая ступень сепарации нефти (производится в основном при давлениях 0,2-1,0 МПа, давление сепарации выбирается из расчёта бескомпрессорного транспорта газа, выделившегося на ДНС, до компрессорной станции, газоперерабатывающего завода или других потребителей), где выделяется до 90% растворённого нефтяного газа. После ДНС частично разгазированная нефть и газ поступают на ЦПС (газ по газопроводу за счёт давления, создаваемого в нефтегазовом сепараторе, нефть перекачивается насосами по напорному нефтепроводу). На ЦПС располагаются также установки подготовки нефти, на которых производится её обезвоживание и обессоливание. На ЦПС осуществляется также окончательное разгазирование нефти на концевых сепарационных установках, а в некоторых нефтедобывающих районах проводится глубокая дегазация (стабилизация) нефти в ректификационных колоннах. На нефтяном промысле осуществляется также контроль за разработкой нефтяного месторождения, проводятся мероприятия по повышению нефтеотдачи пластов и др.

Современный нефтяной промысел характеризуется высоким уровнем автоматизации и телемеханизации, позволяющий осуществлять контроль и управление режимами эксплуатации нефтяных скважин, систем сбора и подготовки нефти, газокompрессорными, нефтяными и водонасосными станциями. Свыше 80% нефти добывается на комплексных автоматизированных промыслах.

Нефтепромысел, как правило, находится на достаточно большом расстоянии от места переработки. Поэтому вопрос транспортировки нефти является актуальным.

Нефтепровод – самый дешевый, надежный и выгодный способ транспортировки нефти и нефтепродуктов. Также этот способ является наиболее экологически безопасным. В России такой способ транспортировки является основным. Преимуществами такого вида транспорта являются следующие факты: возможность прокладки между любыми объектами; нефтепровод – кратчайшее расстояние между объектами; нефтепровод непрерывен, что обеспечивает бесперебойное снабжение потребителей; нет необходимости в хранилищах.

Во время эксплуатации нефтепровода возникают ситуации, в которых необходимо по каким либо причинам приостановить перекачку нефти по нефтепроводу. Это может быть либо запланированная остановка для проведения плановых работ по обслуживанию нефтепровода, либо незапланированная остановка (например, при возникновении аварийной ситуации). Для подобных целей используется такой механизм, как задвижка. Задвижки расположены по всей длине нефтепровода с определенным интервалом, и в случае необходимости с их помощью можно перекрыть отдельный участок нефтепровода.

Учитывая тот факт, что нефтепроводы имеют большую протяженность, появляется необходимость дистанционного управления открытием и закрытием задвижек. Для таких целей на данный механизм устанавливают электропривод. Такое решение позволяет в кратчайшие сроки совершать определенные действия с задвижками, что значительно упрощает процесс обслуживания нефтепровода. Так же с помощью электропривода можно оперативно реагировать на аварийные ситуации (например, порыв нефтепровода), что в значительной степени снижает последствия аварии на нефтепроводе.

В данной работе будут исследованы динамические режимы работы электропривода клиновой задвижки посредством моделирования переходных процессов в программной среде MATLABSimulink.

1. Технологический процесс перекачки нефти

1.1. Описание технологического процесса перекачки нефти

К магистральным нефтепроводам относятся трубопроводы протяженностью более 50 км. Скорость движения нефти по нефтепроводу – 3 м/с. Внутренний диаметр трубы нефтепровода может быть в диапазоне от 0,100 м до 1,400 м. Пропускная способность нефтепровода диаметром 1,4 м – 100 млн. тонн в год [1].

Магистральный нефтепровод состоит из линейной части, головной и промежуточных насосных станций, системы подводящих и отводящих трубопроводов и наливных пунктов.

Головная насосная перекачивающая станция (НПС) предназначена для приема нефти с нефтепромыслов и закачки ее в трубопровод. На приеме головной НПС по числу подающих нефтепроводов устанавливаются камеры приема скребков-очистителей и фильтры грязеуловители. Очищенная от грязи и механических примесей нефть поступает в камеру счетчиков, где учитывается поступившая от каждого поставщика отдельно масса нефти. Далее нефть поступает в распределительный коллектор, предназначенный для направления нефтяных потоков к свободным емкостям резервуарного парка. Для предотвращения попадания грязи и механических примесей из резервуарного парка в магистральный трубопровод на всасывании подпорных агрегатов устанавливаются фильтры.

Подпорные агрегаты обеспечивают откачку нефти из резервуаров и создание необходимого подпора на приеме основных агрегатов. На выходе основных перекачивающих агрегатов устанавливают регулятор давления, поддерживающий параметры перекачки в заданных пределах. На нагнетании перекачивающей станции монтируется площадка пуска скребка-очистителя.

Для того, чтобы иметь возможность производить ремонтные или эксплуатационные работы на каком-либо участке нефтепровода, в нем на расстоянии в 10-30 километров размещают задвижки. С помощью задвижек можно перекрыть отдельный участок нефтепровода при аварии, что

предотвратит серьезные последствия и даст возможность ликвидировать эту аварию.

1.2. Обзор задвижек

Задвижка – трубопроводная арматура, в которой запирающий или регулирующий элемент перемещается перпендикулярно оси потока рабочей среды[2].

В общем виде задвижка состоит из корпуса и крышки, которые образуют полость рабочей среды. Внутри этой полости находится элемент, который обеспечивает перекрытие потока жидкости – затвор. Крепление задвижки к корпусу осуществляется одним из трех способов: фланцевый, муфтовый и приварочный.

Для создания максимальной герметичности при закрытии задвижки, внутри корпуса располагаются «седла», к уплотнениям которых прилегает уплотнитель затвора. Движение затвора обеспечивается штоком или шпинделем.

По конструкции задвижки бывают:

1. Клиновые

В клиновой задвижке седла в корпусе располагаются друг к другу под небольшим углом, а затвор — это механизм в виде клина. В положении «закрыто» клин плотно входит в пустоту между седлами.

Простота конструкции клиновой задвижки позволяет использовать ее в различных условиях. Также клиновая задвижка имеет малое гидравлическое сопротивление, что особо ценится при использовании в магистральных трубопроводах.

К недостаткам такой конструкции можно отнести большую строительную высоту.

На рисунке 1 изображено устройство клиновой задвижки.

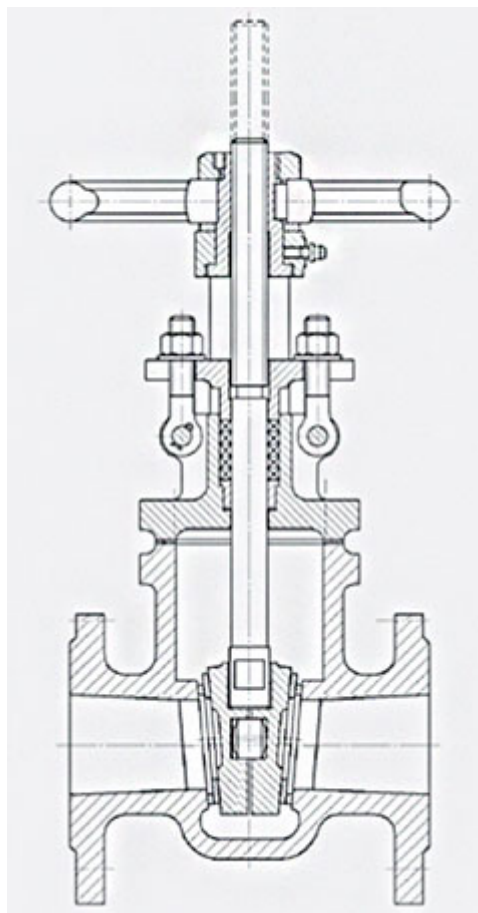


Рисунок 1 – Клиновая задвижка

2. Параллельные

У параллельной задвижки поверхности седел параллельны и перпендикулярны оси движения потока. Как и у клиновой, у параллельной задвижки в основе лежит принцип расклинивания. Только в случае параллельной задвижки клин находится между тарелками затвора. За малое гидравлическое сопротивление их часто используют в высокоскоростных магистральных трубопроводах.

На рисунке 2 изображено устройство параллельной задвижки.

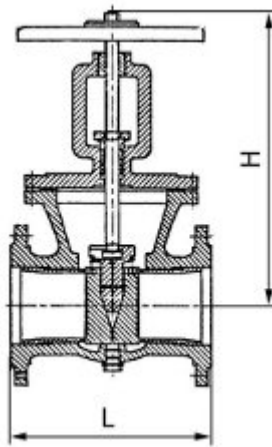


Рисунок 2 – Параллельная задвижка

3. Шиберные

Шиберная задвижка является очень надежным видом запорной арматуры, который имеет характерные особенности исполнения запорного элемента. Затвор в данных задвижках чаще всего имеет название «нож», «шибер» или «диск».

В шиберной задвижке применяется металлическая пластина или металлический клин, который способен разрезать различные включения в жидкости, протекающей внутри ее тела. Из этого и вытекает назначение этого вида запорной арматуры: перекрытие потока рабочей среды, которая имеет повышенную вязкость, способность кристаллизоваться и характеризуется наличием твердых и абразивных частиц, которые своей большей частью, являются активными химическими веществами.

Шиберная задвижка имеет гораздо меньшую строительную длину, чем все остальные виды задвижек, что значительно экономит место в техническом помещении.

Недостатком шиберных задвижек является малый срок службы уплотнительных поверхностей [3].

На рисунке 3 изображено устройство шиберной задвижки.

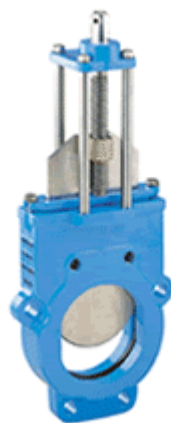


Рисунок 3 – Шибберная задвижка

4. Шланговые

Шланговая задвижка, состоящая из корпуса, патрубка и пережимного устройства, предназначена для перекрытия потока рабочей среды в трубопроводах, транспортирующих агрессивные и неагрессивные, пульпообразные, жидкие и вязкие среды, минеральные масла и нефтепродукты. . Присоединяется **шланговая задвижка** к трубопроводу с помощью фланцев.

Такая конструкция имеет полнопроходное сечение, то есть диаметр патрубка соответствует диаметрам входной и выходной труб. При этом рабочая среда полностью изолирована от окружающей среды.

Недостатком конструкции является тот факт, что гибкий патрубок при эксплуатации постепенно изнашивается. Кроме того, температура рабочей среды определяется тем значением, которое способен выдержать патрубок, что накладывает ограничения на использование задвижек такой конструкции.

На рисунке 4 изображено устройство шланговой задвижки.

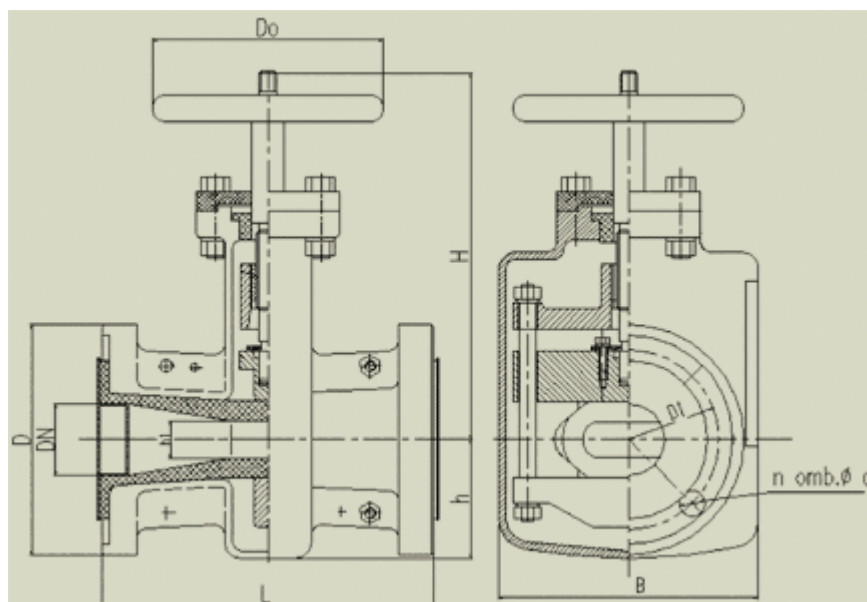


Рисунок 4 - Шланговая задвижка

1.3. Обзор электрических преобразователей для электроприводов задвижек

Для получения возможности удаленно пользоваться задвижками, целесообразно использовать электрический привод в конструкции запорной арматуры. Такое техническое решение позволяет значительно снизить трудозатраты по обслуживанию магистральных трубопроводов. Это обусловлено тем, что отпадает необходимость непосредственного вмешательства человека для закрытия или открытия задвижки. При помощи электропривода можно использовать задвижку, находясь на значительном расстоянии от нее, что актуально в сфере транспортировки нефти и нефтепродуктов. Также применение электропривода в системах запорной арматуры позволяет в определенной мере автоматизировать процесс ремонта и эксплуатации участков нефтепровода.

Для обеспечения требуемых режимов работы электрического привода некоторые переменные, характеризующие работу электропривода, должны регулироваться. Такими переменными (координатами) являются, например, скорость, ускорение, положение исполнительного органа или другого элемента электропривода, токи в электрических цепях двигателя, моменты на

валу и др. За изменение параметров электропривода отвечает преобразователь электрической энергии.

Силовые преобразователи могут быть выполнены на различной элементной базе, а именно с использованием электрических машин, магнитных усилителей, ионных и полупроводниковых элементов. Современные преобразователи являются, как правило, полупроводниковыми, и в них используются главным образом силовые транзисторы, диоды, тиристоры и их разновидности. Электрические преобразователи бывают следующих видов [4]:

1. Управляемые и неуправляемые выпрямители

Преобразуют напряжение переменного тока в напряжение постоянного тока. При этом неуправляемые выпрямители не обеспечивают регулирование напряжения питания двигателя и выполняются на полупроводниковых неуправляемых приборах односторонней проводимости, то есть на диодах. Управляемые же выпрямители выполняются на тиристорах и позволяют регулировать напряжение на двигателе за счет определенного алгоритма управления тиристорами.

На рисунке 5 изображена схема управляемого выпрямителя и принцип работы этой схемы.

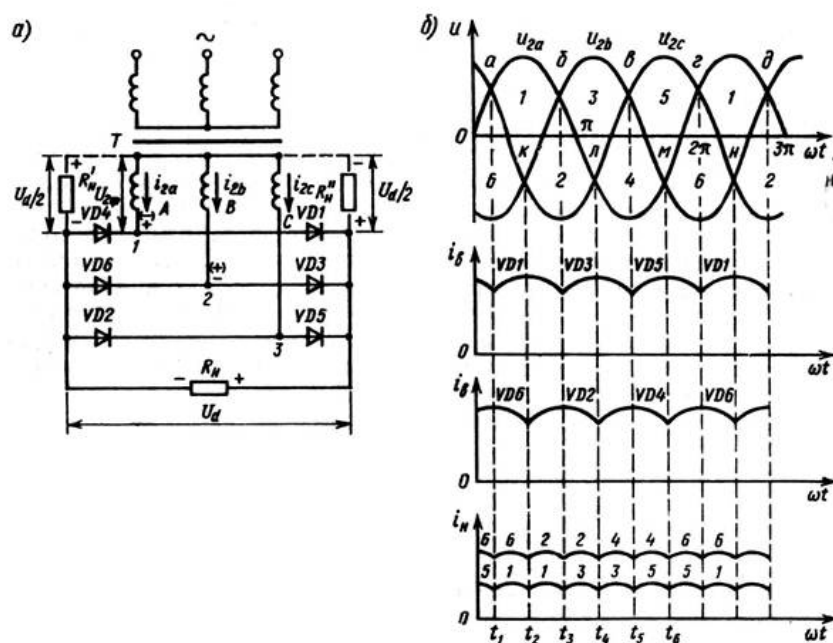


Рисунок 5 – Управляемый выпрямитель: а) схема, б) принцип работы

2. Инверторы

Преобразуют напряжение постоянного тока в напряжение переменного тока. В электроприводе наибольшее распространение получили автономные инверторы напряжения (АИН) и автономные инверторы тока (АИТ).

АИН имеют жесткую характеристику, представляющую собой зависимость выходного напряжения от тока нагрузки, вследствие чего при изменении тока нагрузки их выходное напряжение практически не изменяется. Поэтому АИН имеет свойства источника ЭДС.

АИТ в свою очередь имеют мягкую внешнюю характеристику и обладают свойствами источника тока.

3. Преобразователи частоты переменного тока (ПЧ)

Преобразователем частоты (ПЧ) называется преобразователь напряжения переменного тока одной частоты в напряжение переменного тока другой частоты. Существуют преобразователи частоты двух видов: ПЧ с непосредственной связью, которые позволяют изменять частоту только вниз от стандартного значения; ПЧ с промежуточным звеном постоянного тока,

которые позволяют изменять частоту как вниз от стандартного значения, так и вверх. Последние по понятным причинам нашли более широкое применение в электроприводе.

На рисунке 6 изображена схема включения ПЧ и механические характеристики двигателя при изменении частоты питания.

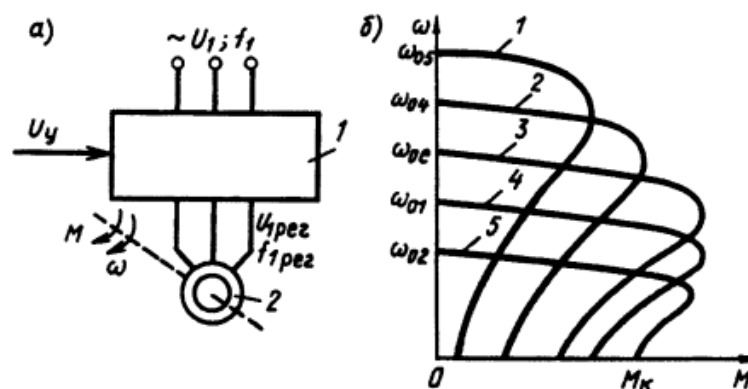


Рисунок 6—Преобразователь частоты: а) схема включения, б) принцип работы

4. Преобразователи напряжения (ТРН)

Преобразование напряжения переменного тока может быть осуществлено при помощи тиристорного регулятора напряжения (ТРН).

Изменение напряжения, подводимого к статору АД, позволяет осуществлять регулирование координат привода в статических и динамических режимах с хорошими показателями качества и с помощью относительно простых схем управления. Также такой способ управления обеспечивает экономичные режимы работы электродвигателя.

На рисунке 7 изображена схема включения ТРН и механические характеристики двигателя при изменении напряжения питания.

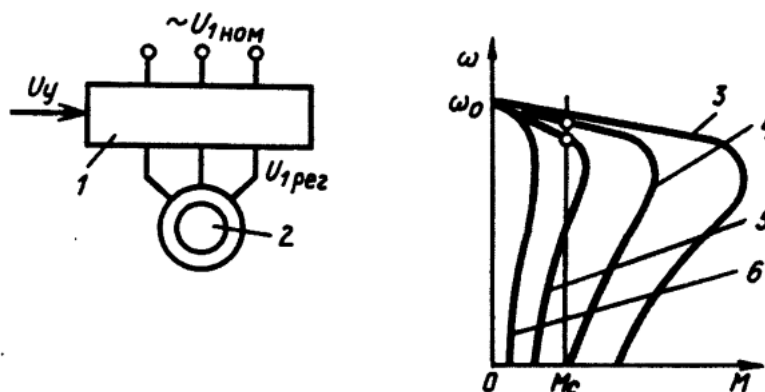


Рисунок 7 – Схема и принцип работы системы ТРН - АД

Для регулирования координат АД между сетью переменного тока со стандартным напряжением $U_{1\text{ном}}$ и статором двигателя включен регулятор напряжения (рисунок 7), выходное напряжение которого $U_{1\text{рег}}$ изменяется с помощью маломощного внешнего сигнала управления U_y в пределах от значения сетевого напряжения $U_{1\text{ном}}$ практически до нуля. При этом частота напряжения не меняется и остается равной стандартной (50 Гц).

Система ТРН – АД будет принята в дипломной работе как объект исследования. Ниже будет приведено более подробное описание работы тиристорного преобразователя, и будут разобраны режимы его работы.

5. Импульсные преобразователи напряжения постоянного тока с различными видами модуляции выходного напряжения постоянного тока

В подобных преобразователях используются силовые полупроводниковые управляемые ключи, работающие в импульсном режиме. Принцип работы импульсных преобразователей основан на модуляции напряжения источника питания. Например, широтно-импульсная модуляция (ШИМ) подразумевает изменение длительности импульсов напряжения при неизменной частоте их подачи.

На рисунке 8 изображен принцип действия импульсного преобразователя напряжения.

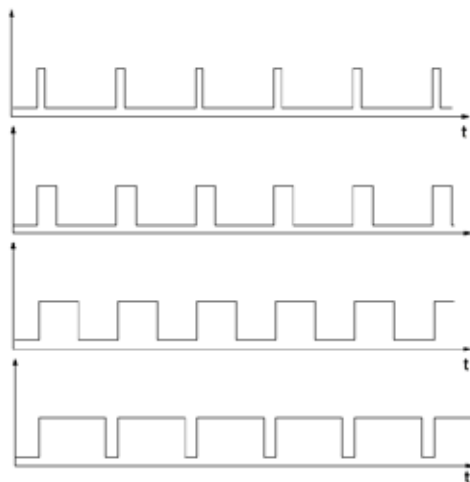


Рисунок 8 - Принцип работы импульсных преобразователей

Анализируя все вышеперечисленные преобразователи электрической энергии, можно сделать следующие выводы.

При передаче электроэнергии на большие расстояния переменный ток использовать выгоднее, чем постоянный. Это помогает избежать больших потерь. Поэтому к электроприводу задвижки будет подводиться переменный ток, который и будет питать этот привод. Таким образом, не требуется преобразовывать электроэнергию переменного тока в электроэнергию постоянного тока. По этой причине для преобразования электрической энергии для электропривода задвижки не подходят выпрямители и инверторы.

Импульсные преобразователи напряжения постоянного тока так же не подходят для электропривода задвижки, так как такие преобразователи работают с постоянным током.

Преобразователь частоты имеет ряд положительных качеств:

- высокий КПД (до 98%);
- экономия электроэнергии;
- возможность удаленного управления электроприводом;

- плавный пуск электродвигателя;

Недостатком такого преобразователя является его высокая стоимость, сложность устройства, высокие затраты на обслуживание.

Тиристорный регулятор напряжения имеет ряд преимуществ над преобразователем частоты:

- простота устройства;
- стоимость ТРН в разы меньше, при этом с увеличением мощности электропривода разница в стоимости увеличивается;
- сравнительно простые алгоритмы управления;
- возможность работать в более жестких погодных условиях;
- сравнительная простота обслуживания;

Недостатком ТРН является малый диапазон регулирования скорости вращения электродвигателя и малый КПД при малых скоростях. Данные недостатки несущественны для электропривода задвижки.

Исходя из преимуществ ТРН, логичнее всего использовать именно этот преобразователь электрической энергии в электроприводе задвижки нефтепровода.

1.4. Принцип действия тиристорного преобразователя

Как было отмечено ранее, ТРН позволяет изменять значение напряжение от номинального значения практически до нуля.

Изменение статорного напряжения не изменяет значение скорости холостого хода $\omega_0 = 2\pi f_1 / p$ и критического скольжения s_k . Такой способ регулирования координат изменяет критический момент M_k .

Это можно увидеть из формулы

$$M_k = \frac{3U_\phi^2}{2\omega_0(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + x_k^2})}$$

Изменение критического момента происходит пропорционально квадрату снижения напряжения. В результате при изменении напряжения на статоре искусственные характеристики 3-6 (рисунок 7), построенные при напряжениях $(1; 0,8; 0,6; 0,4) \cdot U_{1ном}$, оказываются малоприспособленными для регулирования скорости. Это связано с тем, что при уменьшения напряжения резко снижаются критический момент, и соответственно перегрузочная способность асинхронного двигателя. При этом диапазон регулирования скорости весьма мал.

Разомкнутая схема (рисунок 7) применима только во время переходных процессов, для воздействия на момент асинхронного двигателя. Это может потребоваться для обеспечения заданного ускорения движения электропривода или регулирования величины натяжения на исполнительном органе рабочей машины.

Изменение напряжения позволяет также в соответствии с формулой

$$I'_2 = \frac{U_\phi}{\sqrt{(R_1 + R'_2/s)^2 + x_k^2}}$$

осуществлять ограничение тока статора в переходных режимах. На рисунке 9 приведены электромеханические характеристики при изменении напряжения на статоре.

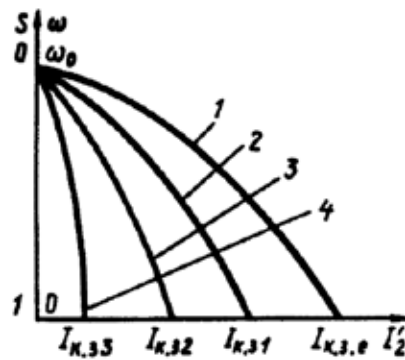


Рисунок 9 - Электромеханические характеристики

Разберем действие тиристорного регулятора напряжения и основанную на его использовании систему ЭП «ТРН – АД».

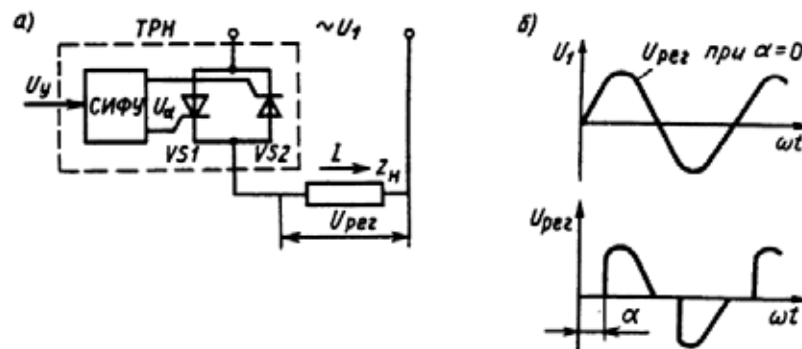


Рисунок 10 - Однофазный ТРН – АД

На рисунке 10а приведена схема регулирования напряжения на однофазной нагрузке переменного тока Z_H . Силовая часть однофазного ТРН состоит из двух тиристоров $VS1$ и $VS2$, включенных по так называемой встречно-параллельной схеме, которая обеспечивает протекание тока в нагрузке в оба полупериода напряжения сети U_1 . Тиристоры получают импульсы управления U_α от СИФУ, обеспечивающей их сдвиг на угол управления α в функции внешнего сигнала управления U_y .

При отсутствии импульсов управления на тиристорах $VS1$ и $VS2$, они закрыты. При этом напряжение на нагрузке $U_{рег}$ равно нулю. При подаче на тиристоры импульсов управления с углом управления $\alpha=0$ они будут полностью открыты и к нагрузке будет приложено все напряжение сети $U_1 =$

$U_{\text{рег}}$ (рисунок. 10, б). При подаче импульсов управления на тиристоры с определенной задержкой относительно предельного режима, то к нагрузке будет прикладываться часть напряжения сети. Изменяя угол управления α от нуля до π , можно регулировать напряжение на нагрузке от полного напряжения сети до нуля.

Используя однофазную схему ТРН, показанную на рисунке 10, а, можно получить трехфазную схему для регулирования напряжения на обмотках статора асинхронного двигателя. Такая схема состоит из шести тиристоров VS1- VS6 (рисунок 11).

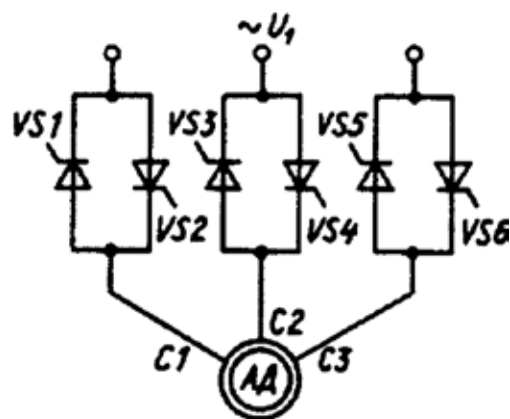


Рисунок 11 – Включение тиристоры в системе ТРН – АД

В таких схемах вместо пары включенных встречно-параллельно тиристоров может применяться полупроводниковый прибор под названием симистор. Этот прибор обеспечивает протекание тока в фазе двигателя в обоих направлениях и имеет такой же принцип действия, что и тиристор. С помощью симистора можно сократить число электронных приборов вдвое, что упростит схему СИФУ.

Необходимо отметить, что напряжение, прикладываемое к нагрузке, является несинусоидальным. Его можно представить совокупностью нескольких синусоидальных гармоник, каждая из которых изменяется с определенной частотой. Частота изменения основной гармоники равна частоте питающего напряжения, а частоты изменения других гармоник

больше, чем первой. Обычно первая гармоника имеет наибольшую амплитуду и по ней ведутся все основные расчеты.

С помощью ТРН можно осуществить реверс электродвигателя. На рисунке 12 приведена схема управления АД, позволяющая реверсировать АД. Такая схема состоит из пяти пар включенных тиристоров встречно-параллельно VS1-VS10. Если сигналы управления от СИФУ подаются на тиристорные пары 1, 3 и 5, то на статоре АД питающее напряжение будет с последовательностью фаз сети ABC и двигатель будет вращаться в прямом направлении. При подаче сигналов управления на тиристорные пары 2, 4 и 5, то на выводах статора АД C1, C2, C3 будет уже другая последовательность фаз сетевого напряжения – В А С. В таком случае направление скорости вращения ротора АД изменится на обратное.

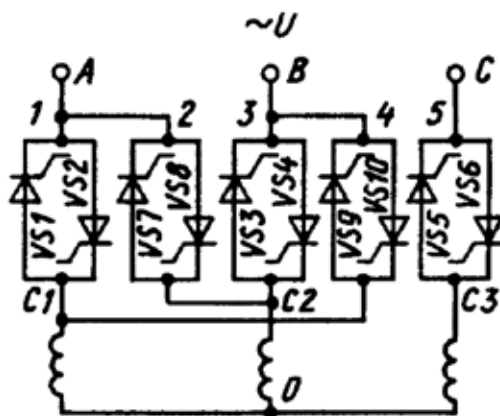


Рисунок 12 - Схема для реверса электродвигателя

Функциональные возможности ТРН по управлению АД этим далеко не исчерпываются. С их помощью можно обеспечивать принудительное электрическое торможение АД, формирование требуемых динамических характеристик ЭП в переходных режимах, обеспечение экономичных режимов АД при его работе с переменной нагрузкой. На базе рассмотренных схем ТРН реализуются тиристорные реверсивные и нереверсивные контакторы (пускатели) для пуска, реверса и торможения АД.

2. Выбор электропривода и расчет его оборудования

2.1. Исходные данные

Существует отдельная группа электроприводов, предназначенная для управления запорной арматурой. Такие электропривода рассчитаны для работы с нагрузками, обусловленными спецификой работы трубопроводной запорной арматуры.

Таким образом, для подбора электропривода для управления конкретной задвижкой требуется знать давление в трубопроводе и диаметр проходного сечения самой задвижки. Эти параметры определяют максимальный крутящий момент на выходном звене электропривода. Исходя из значения максимального момента, выбирают электропривод запорной арматуры.

С целью управления клиновой задвижкой, установленной на магистральном нефтепроводе, выберем электропривод ЭПЦ-15000. Данный привод рассчитан на работу с арматурой, установленной на трубопроводах, давление которых достигает 15 МПа[5]. Учитывая то, что магистральные трубопроводы проектируются на давление до 10 МПа[6], данный привод, установленный на клиновую задвижку, идеально подойдет для достижения целей перекрытия потока рабочей среды.

Данный электропривод позволяет осуществлять:

- закрытие-открытие проходного сечения арматуры и остановку затвора арматуры в любом промежуточном положении по командам оператора с местного или дистанционного поста управления;
- автоматическое отключение электродвигателя по сигналам датчика положения при достижении затвором арматуры крайних положений;
- автоматическое отключение электродвигателя по сигналам муфты ограничения крутящего момента при превышении допустимых нагрузок на выходном звене в любом промежуточном положении затвора арматуры и при его достижении крайних положений;

- выдача дискретных сигналов при достижении затвором арматуры крайних положений и при срабатывании муфты ограничения крутящего момента;
- управление затвором арматуры с помощью привода ручного дублера;
- указание положения затвора арматуры в процессе работы на местном указателе положения;
- автоматическое выключение привода ручного дублера.

2.2 Характеристики электропривода

2.2.1. Технические характеристики ЭПЦ-15000

Режим работы электропривода: повторно-кратковременный S3 с коэффициентом циклической продолжительности включения (ПВ) 25 % по ГОСТ Р 52776. Продолжительность цикла - 60 мин. Время непрерывной работы - 15 мин.

Электропривод «ЭПЦ-15000» комплектуется трехфазным асинхронным взрывозащищенным электродвигателем ДАТЭК-350-03-УХЛ1 ТУ3324-414-20885897-2006 (15 кВт; 1500 об/мин):

- номинальный потребляемый ток нагрузки не более 29,4 А.
- максимальный потребляемый ток нагрузки не более 60 А.

Электропривод климатического исполнения УХЛ1, категории размещения 1 по ГОСТ 15150, сохраняет свою работоспособность при:

- диапазоне температуры окружающего воздуха от минус 60°C до плюс 50°C;
- верхнем значении относительной влажности 95% при 35 °C и более низких температурах без конденсации влаги;
- скорости изменения температуры до 5°C/ч.

По устойчивости к воздействию атмосферного давления электропривод соответствует группе Р1 по ГОСТ 12997-84: диапазон атмосферного давления, кПа - 84 ... 106,7 на высоте до 1000 м над уровнем моря.

Электропривод изготавливается в исполнении повышенной сейсмостойкости для районов с сейсмичностью свыше 9 и до 10 баллов включительно (по шкале MSK-64).

Рабочее положение электропривода в пространстве - любое выше горизонтальной плоскости, проходящей через ось запорной арматуры.

Основные технические характеристики электроприводов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные технические характеристики электропривода

| Наименование параметра | Норма | Примечание |
|---|-----------------|------------|
| 1 Максимальный крутящий момент на выходном звене, Нм | 15 000 | |
| 2 Максимальная частота вращения выходного звена, об/мин, не менее | 10 | |
| 3 Диапазон регулирования по положению, в оборотах выходного звена | 0 ... 60 | |
| 4 Погрешность остановки выходного звена в заданном положении, угл. град, не более | 10 | |
| 5 Диапазон ограничения крутящего момента на выходном звене, Нм, в пределах | 3 000... 15 000 | |

| | | |
|--|--------------|--|
| 6 Максимальная погрешность ограничения крутящего момента на выходном звене изделия, в % от заданного значения момента, не более: | | |
| - в первой половине значений диапазона | ±15 | |
| - во второй половине значений диапазона | ±10 | |
| 7 Максимальное усилие на маховике ручного дублера при максимальном моменте на выходном звене, Н, не более | 450 | |
| 8 Степень защиты изделия по ГОСТ 14254 | IP 67 | |
| 9 Габаритные размеры (длина x ширина x высота), мм, не более | 1000x950x133 | |
| | 0 | |
| 10 Масса, кг, не более | 1000 | |

2.2.2. Состав электропривода

Электропривод «ЭПЦ-15000» состоит из следующих основных частей (см. Приложение А): редуктора (позиция 1), привода ручного дублера (позиция 2), блока управления (позиция 3), асинхронного электродвигателя (позиция 4) и электрических кабелей в защитной оболочке (позиции 5 и 6).

Габаритные размеры электропривода и схема строповки при погрузо-разгрузочных работах во время монтажа на месте применения так же приведены в приложении А.

2.2.3. Порядок работы изделия в автоматическом режиме от электродвигателя

При включении электродвигателя (позиция 1) (см. приложение Б) вращение от шестерни (позиция 2), установленной на валу электродвигателя, передается на зубчатое колесо (позиция 3), установленное и вращающееся на ограничителе (позиция 4), жестко закрепленном на входном валу (позиция 5) редуктора с промежуточными телами качения. С зубчатого колеса (позиция 3) вращение через его кулачковую полумуфту передается на кулачковую полумуфту толкателя (позиция 6), который через шлицевое соединение с

ограничителем (позиция 5) передает вращение на редуктор с промежуточными телами качения и далее на выходное звено (позиция 7) электропривода.

Шестерня (позиция 8), установленная на входном валу блока управления (позиция 9) и находящаяся в зацеплении с зубчатым колесом (позиция 3), обеспечивает обратную передачу вращательного движения, созданного электродвигателем, на входной вал бесконтактного датчика положения блока управления, по сигналам которого обеспечивается формирование и подача на электродвигатель 3-х фазного напряжения питания в соответствии с заданным алгоритмом и параметрами движения (скорость, положение, моменты трогания и движения). При достижении выходным звеном электропривода заданного конечного или промежуточного положения происходит отключение электродвигателя. Контроль текущего положения выходного звена электропривода в процессе работы ведется в блоке управления по сигналам датчика положения.

Также в процессе работы электропривода от электродвигателя в блоке управления обеспечивается постоянный контроль величины нагрузки на выходном звене (по току электродвигателя) и отключение электродвигателя при превышении нагрузки заданного значения момента ограничения.

Информация об отключении электродвигателя, при достижении выходным звеном электропривода заданного конечного положения или при отключении по заданному моменту ограничения, выводится на индикаторы «Открыто», «Закрыто» или «Муфта» блока управления и передается по дискретным сигнальным выходам или по последовательному интерфейсу в систему телемеханики.

2.3. Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя

Для расчета механических и электромеханических характеристик АД необходимо воспользоваться параметрами схемы замещения электродвигателя. Как правило, используют Т-образную схему замещения асинхронного электродвигателя, так как она является наиболее простой и удобной для расчетов.

Т-образная схема замещения АД представлена на рисунке 15.

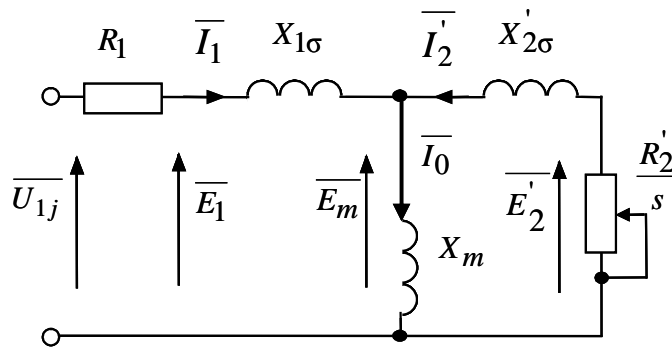


Рисунок 13 - Схема замещения асинхронного двигателя

На рисунке 15 приняты следующие обозначения:

U_{1j} – фазное напряжение статорной обмотки;

R_1 – активное сопротивление статорной обмотки;

$X_{1\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки;

I_1 – ток статорной обмотки;

E_1 – ЭДС статорной обмотки;

R_2' – активное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной обмотке;

$X_{2\sigma}'$ – индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной обмотке;

$s = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$ – скольжение АД;

$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / z_p$ – синхронная угловая скорость АД;

ω – угловая скорость АД;

p – число пар полюсов АД;

f_1 – частота напряжения переменного тока, питающего статорную обмотку;

E_m – ЭДС от главного магнитного потока машины;

E'_2 – ЭДС роторной обмотки, приведенная к статорной обмотке.

Уравнения АД, соответствующие Т-образной схеме замещения:

$$\bar{U}_{1j} - \bar{E}_m - j \times X_{1s} \times \bar{I}_1 - R_1 \times \bar{I}_1 = 0,$$

$$\bar{E}_m + j \times X'_{2s} \times \bar{I}'_2 + R'_2 \times \bar{I}'_2 / s = 0,$$

$$\bar{I}_1 + \bar{I}'_2 - \bar{I}_0 = 0.$$

Ток ротора I'_2 , приведенный к статорной обмотке АД, определяется зависимостью, получаемой непосредственно из схемы замещения асинхронного двигателя:

$$I'_2 = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R'_2}{s} + X_{\text{кн}}^2}},$$

где $X_{\text{кн}} = X_{1s} + X'_{2s}$ – индуктивное сопротивление короткого замыкания.

$I'_2 = f(s)$ – электромеханическая характеристика асинхронного двигателя.

Наибольшую информативность несет в себе зависимость тока статора от скольжения $I_1 = f(s)$. Ток в обмотке статора при этом определяется как сумма вектора тока намагничивания \bar{I}_0 и вектора тока ротора \bar{I}_2' :

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \bar{I}_2'$$

Делая предположение о том, что ток намагничивания является реактивным, можно выразить ток статора I_1 через ток ротора, приведенный к статорной обмотке I_2' [8]:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \times I_0 \times I_2' \times \sin j_2},$$

где

$$\sin j_2 = \frac{x_{\text{кн}}}{\sqrt{\frac{x_{\text{кн}}^2}{\sigma} + \frac{R_2'}{s} + x_{\text{кн}}^2}}.$$

Основной координатой электропривода, представляющей наибольший интерес, является электромагнитный момент. Значение электромагнитного момента для АД можно представить в виде:

$$M_j = \frac{m_1 \times U_{1j}^2 \times R_2'}{w_{0j} \times s \times [(R_1 + R_2' \times s^{-1})^2 + (X_{1s} + X_{2s}')^2]},$$

где m_1 – число фаз статора.

Анализируя выражение электромагнитного момента, можно сделать вывод о том, что механическая характеристика АД имеет точку критического

момента и критического скольжения, которые находятся при условии

$$\frac{dM}{ds} = 0.$$

Тогда критический момент

$$M_{\text{ê}} = \frac{m_1 \times U_{1j}^2}{2 \times w_0 \times \left(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{\text{êf}}^2} \right)},$$

критическое скольжение

$$s_{\text{к}} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}}.$$

Знак «+» ставят в том случае, если двигатель работает в двигательном режиме, знак «-» ставят при работе двигателя в генераторном режиме.

Паспортные данные электродвигателя типа ДАТЭК-350-03:

$P_{\text{н}} = 15$ кВт – номинальная мощность двигателя;

$U_{1\text{н}} = 380$ В – номинальное линейное напряжение;

$U_{1\text{ф}} = 220$ В – фазное напряжение;

$n_0 = 1500$ об/мин – синхронная частота вращения;

$s_{\text{н}} = 2,7\%$ – номинальное скольжение;

$\eta_{\text{н}} = 89\%$ – КПД в режиме номинальной мощности (100 %-я нагрузка);

$\cos \varphi_{\text{н}} = 0,87$ – коэффициент мощности;

$k_i = \frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{н}}} = 6,2$ о.е. – кратность пускового тока;

$k_{\text{п}} = \frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{н}}} = 2,1$ о.е. – кратность пускового момента;

$$k_{max} = \frac{M_K}{M_H} = 2,6 \text{ о.е.} - \text{кратность максимального момента};$$

$$J_{дв} = 0,06 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{момент инерции.}$$

Рассчитаем параметры двигателя.

Синхронная угловая частота вращения:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,08 \text{ рад/с.}$$

Номинальная угловая частота вращения:

$$\omega_H = \omega_0 \cdot (1 - s_H) = 157,08 \cdot (1 - 0,027) = 152,838 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{15000}{152,838} = 98,143 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Номинальный ток статора:

$$I_H = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{15000}{3 \cdot 220 \cdot 0,87 \cdot 0,89} = 29,352 \text{ А.}$$

Коэффициент мощности при частичной нагрузке:

$$\cos \varphi = 0,98 \cdot \cos \varphi_H = 0,98 \cdot 0,87 = 0,853.$$

Ток статора двигателя при частичной нагрузке:

$$I_1 = \frac{0,75 \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_H} = \frac{0,75 \cdot 15000}{3 \cdot 220 \cdot 0,853 \cdot 0,89} = 22,463 \text{ А.}$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_1^2 - [\frac{0,75 \cdot I_H \cdot (1 - s_H)}{1 - 0,75 \cdot s_H}]^2}{1 - [\frac{0,75 \cdot (1 - s_H)}{1 - 0,75 \cdot s_H}]^2}} = \sqrt{\frac{22,463^2 - [\frac{0,75 \cdot 29,352 \cdot (1 - 0,027)}{1 - 0,75 \cdot 0,027}]^2}{1 - [\frac{0,75 \cdot (1 - 0,027)}{1 - 0,75 \cdot 0,027}]^2}} = 7,735 \text{ A}$$

Соотношение для расчета критического скольжения (в первом приближении принимаем коэффициент $\beta=1$):

$$s_K = s_H \cdot \frac{k_{max} + \sqrt{k_{max}^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1)} =$$

$$= 0,027 \cdot \frac{2,6 + \sqrt{2,6^2 - [1 - 2 \cdot 0,027 \cdot 1 \cdot (2,6 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,027 \cdot 1 \cdot (2,6 - 1)} = 0,148 \text{ о. е.}$$

Ряд промежуточных коэффициентов для определения внутренних параметров двигателя:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_H} = 1 + \frac{7,735}{2 \cdot 6,2 \cdot 29,352} = 1,021.$$

$$A_1 = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,027)}{2 \cdot 1,021 \cdot 2,6 \cdot 15000} = 1,774.$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R_2 = \frac{A_1}{(\beta + \frac{1}{s_K}) \cdot C_1} = \frac{1,774}{(1 + \frac{1}{0,148}) \cdot 1,021} = 0,224 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2 \cdot \beta = 1,021 \cdot 0,224 \cdot 1 = 0,229 \text{ Ом.}$$

Параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_K^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,148^2} - 1^2} = 6,669.$$

Сопротивление короткого замыкания:

$$X_{kn} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2 = 6,669 \cdot 1,021 \cdot 0,224 = 1,527 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_2 = \frac{0,58 \cdot X_{kn}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 1,527}{1,021} = 0,867 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{kn} = 0,42 \cdot 1,527 = 0,642 \text{ Ом.}$$

ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{(U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_n - R_1 \cdot I_n)^2 + (U_{1\phi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_n} - X_1 \cdot I_n)^2} \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,87 - 0,229 \cdot 29,352)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,87^2} - 0,642 \cdot 29,352)^2} \\ &= 205,283 \text{ В.} \end{aligned}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_m = \frac{E_m}{I_0} = \frac{205,283}{7,735} = 26,54 \text{ Ом.}$$

2.4. Расчет статических характеристик электродвигателя

Естественная механическая характеристика $M(s)$ асинхронного двигателя рассчитывается по выражению:

$$M(s) = \frac{3 U_{1\phi}^2 R_2}{\omega_0 s \left(X_{KH} \right)^2 + \frac{R_1}{s} + \frac{R_2}{s} + \frac{R_1 R_2}{s X_m^2}}.$$

По результатам расчета строится механическая характеристика $\omega(M)$, где $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$. Механические характеристики электродвигателя при изменении питающего напряжения изображены на рисунке 16.

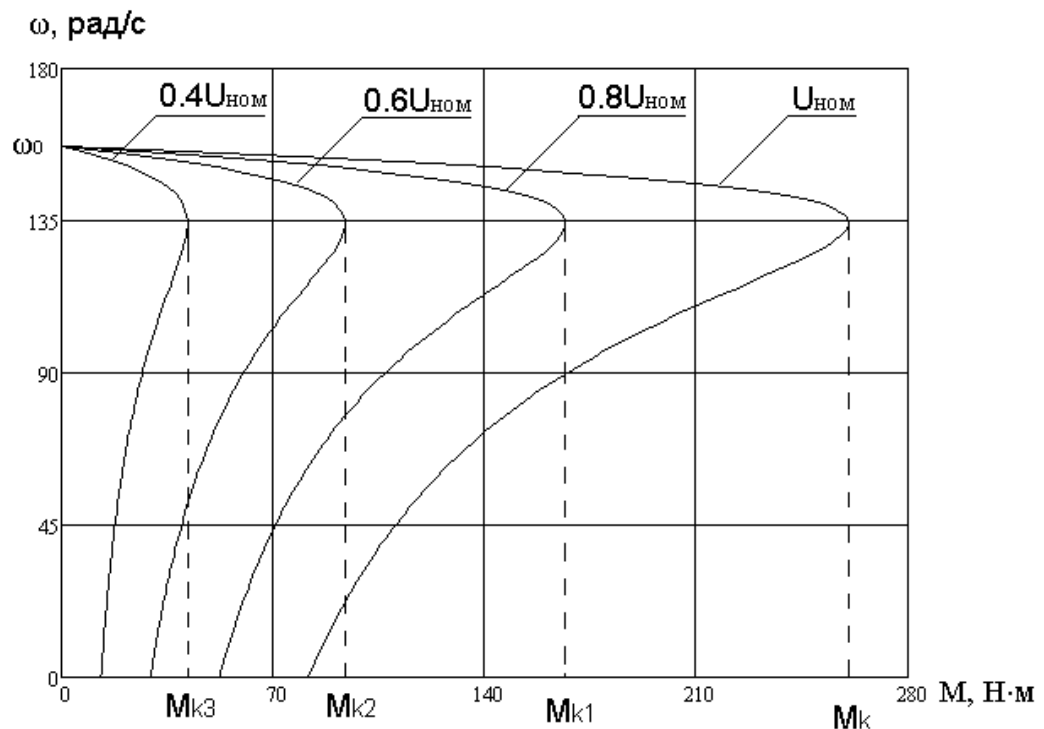


Рисунок 14 - Механические характеристики электродвигателя

Электромеханическая характеристика $I_1(s)$ рассчитывается по выражению:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2^2(s) + 2 \times I_0 \times I_2(s) \times \sin j_2(s)},$$

где

$$I_2(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R_2}{s} + (X_{KH})^2 + \frac{R_1 \times R_2}{s \times X_m^2}}};$$

$$I_0 = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1s} + X_m)^2}}; \quad \sin j_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R_2}{s} + (X_{KH})^2}}.$$

Электромеханические характеристики тока статора I_1 и тока ротора I_2 электродвигателя изображена на рисунке 17.

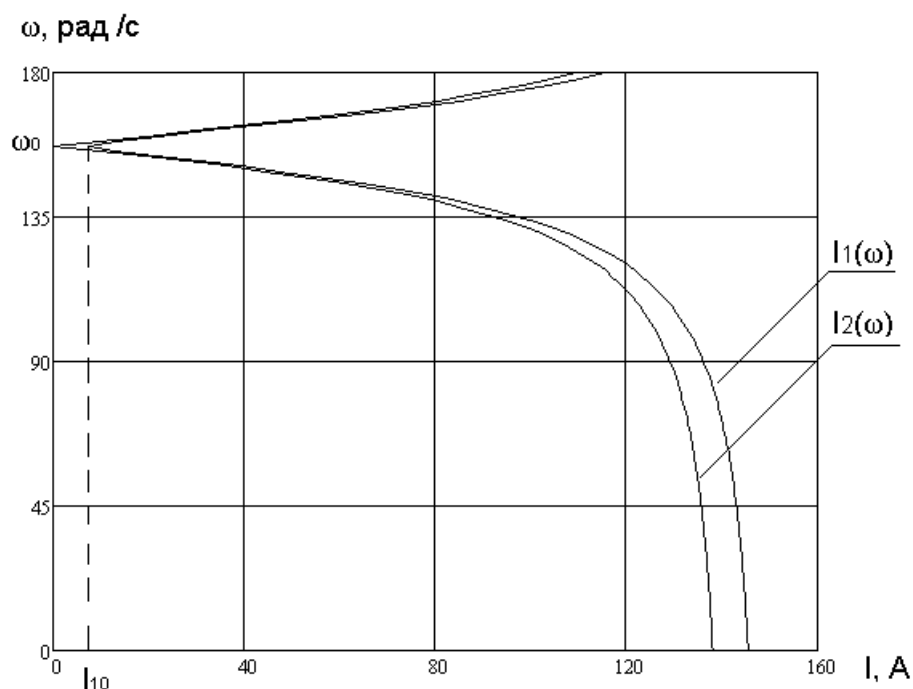


Рисунок 15 - Электромеханическая характеристика тока статора

3. Имитационная модель ТРН – АД

3.1. Математическое описание асинхронного двигателя

Система уравнений, описывающая динамические режимы работы АД, должна включать в себя дифференциальные уравнения напряжений обмоток и уравнения движения вращающихся частей машины. При промышленной частоте 50 Гц обмотки машины рассматриваются как электрические цепи с сосредоточенными параметрами, так как при этом длина электромагнитной волны много больше линейных размеров обмоток [9].

Рассмотрим трехфазную двухполюсную идеализированную машину, имеющую гладкий воздушный зазор, все параметры которой линейны, а напряжения на выводах синусоидальны [9].

Модель такой машины представлена на рисунке 18. Такая модель подразумевает наличие трех обмоток статора с числом витков w_A , w_B , w_C и трех обмоток ротора с числом витков w_a , w_b , w_c . Взаимные индуктивности

между обмотками ротора и статора изменяются при вращении ротора АД со скоростью ω . При этом $\frac{d\theta}{dt} = \omega$, где θ – угол между обмотками ротора и статора.

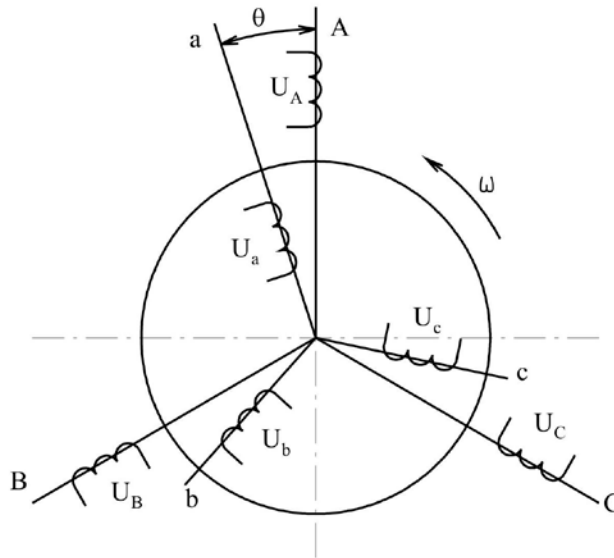


Рисунок 16 - Пространственная модель АД в естественных координатах

Необходимо записать систему дифференциальных уравнений по второму закону Кирхгофа для каждой фазы статора и ротора. Это поможет в дальнейшем найти токи двигателя.

Уравнения для фазных обмоток статора [9]:

$$\begin{aligned} U_A &= R_s \dot{Y}_A + \frac{dY_A}{dt} ; \\ U_B &= R_s \dot{Y}_B + \frac{dY_B}{dt} ; \\ U_C &= R_s \dot{Y}_C + \frac{dY_C}{dt} . \end{aligned} \quad (3.1)$$

Уравнения для фазных обмоток ротора:

$$U_a = R_r \dot{Y}_a + \frac{dY_a}{dt} ;$$

$$U_b = R_r \dot{\chi}_b + \frac{dY_b}{dt} ; \quad (3.2)$$

$$U_c = R_r \dot{\chi}_c + \frac{dY_c}{dt} ;$$

где индексы А, В, С обозначают обмотки статора, индексы а, b, с обозначают обмотки ротора.

При этом роторные величины приведены к обмотке статора. Потокосцепления с фазами обмоток статора и ротора выражаются через токи фаз и соответствующие индуктивности, для фазы «А» статора:

$$Y_A = L_{AAS} \dot{\chi}_A + L_{ABS} \dot{\chi}_B + L_{ACS} \dot{\chi}_C + L_{aAS} \dot{\chi}_a + L_{aBS} \dot{\chi}_b + L_{aCS} \dot{\chi}_c ; \quad (3.3)$$

для фазы «а» ротора:

$$Y_a = L_{aAS} \dot{\chi}_A + L_{aBS} \dot{\chi}_B + L_{aCS} \dot{\chi}_C + L_{aaS} \dot{\chi}_a + L_{abS} \dot{\chi}_b + L_{acS} \dot{\chi}_c . \quad (3.4)$$

Потокосцепления с другими фазами записываются по тому же принципу. В уравнения для потокосцеплений (3.3), (3.4) входят индуктивности фаз (главные индуктивности и индуктивности рассеяния):

$$L_{AAS} = L_{AA_s} + L_{AA} ;$$

$$L_{BBS} = L_{BB_s} + L_{BB} ;$$

$$L_{CCS} = L_{CC_s} + L_{CC} ;$$

$$L_{aas} = L_{aa_s} + L_{aa}$$

$$\dots\dots ;$$

взаимные индуктивности между фазами статора:

$$L_{ABS} = L_{AB_s} + L_{AB} ;$$

$$L_{ACS} = L_{ACs} + L_{AC};$$

взаимные индуктивности между фазами ротора:

$$L_{abS} = L_{abs} + L_{ab};$$

$$L_{acS} = L_{acs} + L_{ac};$$

и взаимные индуктивности между фазами статора и ротора:

$$L_{Aa}, L_{Ab}, L_{Ac}, L_{Ba}, L_{Bb}, L_{Bc}, L_{Ca}, L_{Cb}, L_{Cc}.$$

Главные индуктивности всех фаз одинаковы и не зависят от углового положения ротора [9]:

$$L_{AA}, L_{AB}, L_{AC}, L_{aa}, L_{bb}, L_{cc} = L_m; \quad (3.5)$$

где L_m – максимальная приведенная взаимная индуктивность между фазами статора и ротора. Обозначим индуктивность фазы статора L_S как сумму взаимной индуктивности L_m и индуктивности рассеяния $L_{AA\sigma}$:

$$L_S = L_m + L_{AA\sigma};$$

таким же образом для ротора:

$$L_R = L_m + L_{aa\sigma}.$$

Главные взаимные индуктивности между фазами статора

$$L_{AB}, L_{AC}, L_{BC} = -L_m/2; \quad (3.6)$$

и взаимные индуктивности между фазами ротора

$$L_{ab}, L_{ac}, L_{bc} = -L_m/2; \quad (3.7)$$

также одинаковы по величине и не зависят от углового положения ротора.

И лишь взаимные индуктивности между фазами статора и ротора зависят от углового положения ротора, характеризующегося углом θ между осями фаз «А» и «а»:

$$\begin{aligned} L_{Aa} &= L_{Bb} = L_{Cc} = L_m \times \cos a_{Aa}; \\ L_{Ab} &= L_{Bc} = L_{Ca} = L_m \times \cos a_{Ab}; \\ L_{Ac} &= L_{Ba} = L_{Cb} = L_m \times \cos a_{Ac}; \end{aligned} \quad (3.8)$$

тогда общая формула:

$$L_{kn} = L_m \times \cos a_{kn}; \quad (3.9)$$

где a_{kn} – электрические углы между осями фаз статора ($k = A, B, C$) и осями фаз ротора ($n = a, b, c$), которые имеют следующие значения:

$$\begin{aligned} a_{Aa} &= a_{Bb} = a_{Cc} = a = p \times q; \\ a_{Ab} &= a_{Bc} = a_{Ca} = a + 2p/3; \\ a_{Ac} &= a_{Ba} = a_{Cb} = a + 4p/3; \end{aligned}$$

где p – число периодов. Угол θ можно в общем случае определить как:

$$q = q_0 + \int_0^t \dot{\omega} \times dt.$$

Взаимные индуктивности (3.8) являются периодическими коэффициентами, изменяющиеся по гармоническому закону при вращении ротора машины. Обозначим эти индуктивности как L_{m1} , L_{m2} , L_{m3} :

$$\begin{aligned} L_{m1} &= L_{Aa} = L_{Bb} = L_{Cc} = L_m \times \cos(a); \\ L_{m2} &= L_{Ab} = L_{Bc} = L_{Ca} = L_m \times \cos(a + 2p/3); \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$L_{m3} = L_{Ac} = L_{Ba} = L_{Cb} = L_m \times \cos(a + 4p/3).$$

Подставляя обозначенные индуктивности (3.5), (3.6), (3.7) и (3.10) в уравнения потокоцеплений (3.3) и (3.4), а потокоцепления всех фаз, в свою очередь, в исходные уравнения электрического равновесия двигателя (3.1) и (3.2), получаем систему уравнений, описывающую электрическую часть асинхронного двигателя в естественной трехфазной системе координат (с учетом, что фазные напряжения на роторе равны нулю):

$$\begin{aligned} U_A &= R_s \dot{x}_A + L_s \frac{di_A}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_B}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_C}{dt} + \frac{d}{dt}(L_{m1} \dot{x}_a) + \frac{d}{dt}(L_{m2} \dot{x}_b) + \frac{d}{dt}(L_{m3} \dot{x}_c); \\ U_B &= R_s \dot{x}_B - \frac{L_m}{2} \frac{di_A}{dt} + L_s \frac{di_B}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_C}{dt} + \frac{d}{dt}(L_{m3} \dot{x}_a) + \frac{d}{dt}(L_{m1} \dot{x}_b) + \frac{d}{dt}(L_{m2} \dot{x}_c); \\ U_C &= R_s \dot{x}_C - \frac{L_m}{2} \frac{di_A}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_B}{dt} + L_s \frac{di_C}{dt} + \frac{d}{dt}(L_{m2} \dot{x}_a) + \frac{d}{dt}(L_{m3} \dot{x}_b) + \frac{d}{dt}(L_{m1} \dot{x}_c); \\ 0 &= R_r \dot{x}_a + \frac{d}{dt}(L_{m1} \dot{x}_A) + \frac{d}{dt}(L_{m2} \dot{x}_B) + \frac{d}{dt}(L_{m3} \dot{x}_C) + L_R \frac{di_a}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_b}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_c}{dt}; \\ 0 &= R_r \dot{x}_b + \frac{d}{dt}(L_{m2} \dot{x}_A) + \frac{d}{dt}(L_{m1} \dot{x}_B) + \frac{d}{dt}(L_{m3} \dot{x}_C) - \frac{L_m}{2} \frac{di_a}{dt} + L_R \frac{di_b}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_c}{dt}; \\ 0 &= R_r \dot{x}_c + \frac{d}{dt}(L_{m3} \dot{x}_A) + \frac{d}{dt}(L_{m2} \dot{x}_B) + \frac{d}{dt}(L_{m1} \dot{x}_C) - \frac{L_m}{2} \frac{di_a}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_b}{dt} + L_R \frac{di_c}{dt}. \end{aligned} \quad (3.11)$$

Уравнение движения электропривода:

$$\frac{J_s}{p_n} \times \frac{dw}{dt} = M - M_c \quad (3.12)$$

M – электромагнитный момент двигателя;

M_c – статический момент сопротивления;

J_s – суммарный момент инерции вращающихся масс, приведенных к валу двигателя.

При принятых допущениях электромагнитный момент двигателя в (3.12) выражается через производные индуктивностей обмоток по углу θ и фазные токи и может быть рассчитан:

$$M = \sum_{k=A,B,C} \dot{a}_{kn} i_k \sum_{n=a,b,c} \dot{a}_{kn} i_n \frac{dL_{kn}}{d\theta}$$

С учетом (3.9) момент можно выразить через токи и углы a_{kn} между фазами:

$$M = - \sum_{k=A,B,C} p_n L_m \dot{a}_{kn} i_k \sum_{n=a,b,c} \dot{a}_{kn} i_n \sin a_{kn} \quad (3.13)$$

В естественных координатах каждое уравнение системы (3.11) содержит производные статорных токов двигателя: $\dot{i}_A, \dot{i}_B, \dot{i}_C$, роторных токов: $\dot{i}_a, \dot{i}_b, \dot{i}_c$, а также 3 производных переменных индуктивностей: L_{m1}, L_{m2}, L_{m3} . Такую систему дифференциальных уравнений 9-го порядка проблематично решить как аналитически, так и численными методами.

Необходимо упростить систему (3.11). Для этого можно перейти от естественной (вращающейся) к неподвижной системе координат α, β, γ . Данный переход аналогичен переводу АД в двухфазную систему координат α, β (модель в статорных осях). Такой переход позволит получить систему дифференциальных уравнений без периодических коэффициентов L_{m1}, L_{m2}, L_{m3} и понизить порядок системы уравнений до 6-го порядка. Трехфазная машина в неподвижной системе координат (α, β, γ) изображена на рисунке 19.

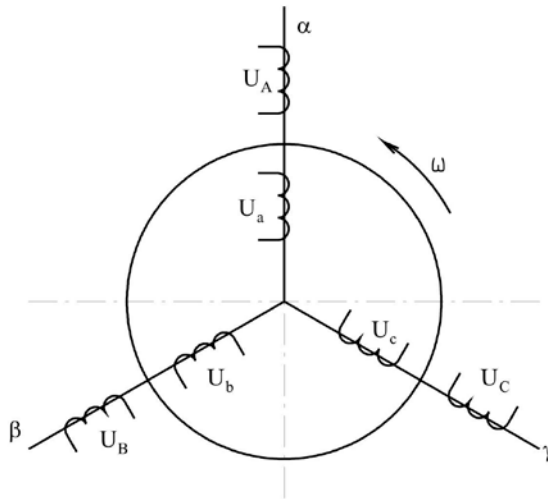


Рисунок 17 - Пространственная модель АД в трехфазной неподвижной системе координат

В трехфазной системе координат имеется круговое поле в воздушном зазоре и его можно представить результирующими векторами токов ротора, напряжений и потокосцеплений, проецируя которые на оси статора α , β , γ находят выражения для преобразованных значений. Матрица преобразования для трехфазной системы [9]:

$$A = \begin{pmatrix} \hat{e}_1 & \hat{e}_0 & \hat{e}_0 & \hat{e}_0 & \hat{e}_0 & \hat{e}_0 & \hat{e}_0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2/3 \cos q & 2/3 \cos(q+r) & 2/3 \cos(q-r) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2/3 \cos(q-r) & 2/3 \cos q & 2/3 \cos(q+r) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2/3 \cos(q+r) & 2/3 \cos(q-r) & 2/3 \cos q & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{u} \\ \hat{u} \\ \hat{u} \\ \hat{u} \\ \hat{u} \\ \hat{u} \\ \hat{u} \end{pmatrix} \quad (3.14)$$

где $r = 2p/3$.

Используя матрицу преобразования (3.14), и с учетом, что фазные напряжения на роторе равны нулю, запишем систему уравнений (3.1), (3.2) в преобразованной трехфазной системе координат:

$$U_A = R_s i_A + \frac{dY_A}{dt} ;$$

$$U_B = R_s \dot{Y}_B + \frac{dY_B}{dt} ;$$

$$U_C = R_s \dot{Y}_C + \frac{dY_C}{dt} ; \quad (3.15)$$

$$0 = R_r \dot{Y}_a + \frac{dY_a}{dt} + (Y_b - Y_c) \times p_n \times \omega / \sqrt{3} ;$$

$$0 = R_r \dot{Y}_b + \frac{dY_b}{dt} + (Y_c - Y_a) \times p_n \times \omega / \sqrt{3} ;$$

$$0 = R_r \dot{Y}_c + \frac{dY_c}{dt} + (Y_a - Y_b) \times p_n \times \omega / \sqrt{3} .$$

Потокосцепления для всех фаз:

$$Y_A = L_{SA} \dot{Y}_A - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_B - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_C + L_m \dot{Y}_a - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_b - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_c ;$$

$$Y_B = -\frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_A + L_{SB} \dot{Y}_B - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_C - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_a + L_m \dot{Y}_b - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_c ;$$

$$Y_C = -\frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_A - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_B + L_{SC} \dot{Y}_C - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_a - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_b + L_m \dot{Y}_c ;$$

$$Y_a = L_m \dot{Y}_A - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_B - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_C + L_{RA} \dot{Y}_a - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_b - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_c ;$$

$$Y_b = -\frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_A + L_m \dot{Y}_B - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_C - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_a + L_{RB} \dot{Y}_b - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_c ;$$

$$Y_c = -\frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_A - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_B + L_m \dot{Y}_C - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_a - \frac{1}{2} \times L_m \dot{Y}_b + L_{RC} \dot{Y}_c .$$

(3.16)

Подставляя потокосцепления (3.16) в (3.15), получаем систему из 6 уравнений и 6 неизвестных: $i_A, i_B, i_C, i_a, i_b, i_c$. Теперь необходимо привести данную систему дифференциальных уравнений к нормальной форме Коши. Для этого требуется перейти к матричной форме записи уравнений. Перепишем систему (3.15), разрешенную относительно производных потокосцеплений:

$$\begin{aligned}\frac{dY_A}{dt} &= U_A - R_s \dot{\lambda}_A; \\ \frac{dY_B}{dt} &= U_B - R_s \dot{\lambda}_B; \\ \frac{dY_C}{dt} &= U_C - R_s \dot{\lambda}_C; \\ \frac{dY_a}{dt} &= -R_r \dot{\lambda}_a - (Y_b - Y_c) \times p_n \times \omega / \sqrt{3}; \\ \frac{dY_b}{dt} &= -R_r \dot{\lambda}_b - (Y_c - Y_a) \times p_n \times \omega / \sqrt{3}; \\ \frac{dY_c}{dt} &= -R_r \dot{\lambda}_c - (Y_a - Y_b) \times p_n \times \omega / \sqrt{3}.\end{aligned}\tag{3.17}$$

Подставляя все потокосцепления (3.16) в (3.17) и используя матричную форму записи системы уравнений, получаем выражение (3.18).

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} L_S & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 \\ -L_m/2 & L_S & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 \\ -L_m/2 & -L_m/2 & L_S & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m \\ L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R & -L_m/2 & -L_m/2 \\ -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R & -L_m/2 \\ -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} di_A/dt \\ di_B/dt \\ di_C/dt \\ di_a/dt \\ di_b/dt \\ di_c/dt \end{bmatrix} = \\
& \begin{bmatrix} U_A - R_s i_A \\ U_B - R_s i_B \\ U_C - R_s i_C \\ R_r i_a - \frac{1}{2} L_m i_A + L_m i_B - \frac{1}{2} L_m i_C - \frac{1}{2} L_m i_a + L_R i_b - \frac{1}{2} L_m i_c \\ R_r i_b - \frac{1}{2} L_m i_A - \frac{1}{2} L_m i_B + L_m i_C - \frac{1}{2} L_m i_a - \frac{1}{2} L_m i_b + L_R i_c \\ R_r i_c - \frac{1}{2} L_m i_A - \frac{1}{2} L_m i_B + L_m i_C - \frac{1}{2} L_m i_a - \frac{1}{2} L_m i_b + L_R i_c \\ R_r i_a - \frac{1}{2} L_m i_B - \frac{1}{2} L_m i_C + L_R i_a - \frac{1}{2} L_m i_b - \frac{1}{2} L_m i_c \\ R_r i_b - \frac{1}{2} L_m i_A - \frac{1}{2} L_m i_C + L_R i_b - \frac{1}{2} L_m i_a - \frac{1}{2} L_m i_c \\ R_r i_c - \frac{1}{2} L_m i_A + L_m i_B - \frac{1}{2} L_m i_C - \frac{1}{2} L_m i_a + L_R i_b - \frac{1}{2} L_m i_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} \times p_n \times w / \sqrt{3}
\end{aligned}
\tag{3.18}$$

Матричная форма записи (3.18) выглядит следующим образом:

$$[L_1] \times \frac{d[i]}{dt} = [U] - [R] [i] + [L_2] \times \frac{w}{\sqrt{3}} \ddot{\theta} [i]; \tag{3.19}$$

где $[i]$ – матрица неизвестных (токи статора и ротора); $[U]$ – матрица напряжений; $[R]$ – матрица сопротивлений; $[L_1]$, $[L_2]$ – матрицы индуктивностей:

$$[i] = \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \\ i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}; \quad [U] = \begin{bmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad [R] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_r \end{bmatrix}.$$

$$[L_1] = \begin{bmatrix} L_s & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 \\ -L_m/2 & L_s & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 \\ -L_m/2 & -L_m/2 & L_s & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m \\ L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R & -L_m/2 & -L_m/2 \\ -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R & -L_m/2 \\ -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R \end{bmatrix}, \quad (3.20)$$

$$[L_2] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3}{2}L_m & -\frac{3}{2}L_m & 0 & \frac{\omega}{\sqrt{3}}L_R + \frac{1}{2}L_m \frac{\omega}{\sqrt{3}} & -\frac{\omega}{\sqrt{3}}L_R + \frac{1}{2}L_m \frac{\omega}{\sqrt{3}} \\ \frac{3}{2}L_m & 0 & \frac{3}{2}L_m & -\frac{\omega}{\sqrt{3}}L_R + \frac{1}{2}L_m \frac{\omega}{\sqrt{3}} & 0 & \frac{\omega}{\sqrt{3}}L_R + \frac{1}{2}L_m \frac{\omega}{\sqrt{3}} \\ \frac{3}{2}L_m & -\frac{3}{2}L_m & 0 & \frac{\omega}{\sqrt{3}}L_R + \frac{1}{2}L_m \frac{\omega}{\sqrt{3}} & -\frac{\omega}{\sqrt{3}}L_R + \frac{1}{2}L_m \frac{\omega}{\sqrt{3}} & 0 \end{bmatrix}.$$

Выразим из (3.19) матрицу токов и получим искомое выражения, описывающее АД в трехфазной системе координат:

$$\frac{d[i]}{dt} = [L_1]^{-1} \times \frac{d}{dt} [U] - \frac{\omega}{\sqrt{3}} [R] + [L_2] \times \frac{\omega}{\sqrt{3}} [i]. \quad (3.21)$$

Расчет токов проводился в системе координат, приведенной к обмоткам статора, а значит мгновенные значения токов ротора i_a , i_b , i_c тоже приведены

к обмоткам статора. Для нахождения токов ротора АД, приведенных к ротору, найдем результирующий ток ротора (амплитуда тока):

$$I_2^{\phi} = \sqrt{\frac{2}{3} (i_a^2 + i_b^2 + i_c^2)}$$

Магнитное поле обмотки статора наводит в роторе токи с частотой ω_r , равной частоте вращения ротора относительно частоты вращения магнитного поля статора:

$$\omega_r = \omega_0 - \omega$$

Угол поворота θ_r можно определить как:

$$q_r = q_{r0} + \int_0^t \omega_r dt$$

Тогда фазные токи ротора можно найти:

$$i_a = I_2^{\phi} \sin(q_r);$$

$$i_b = I_2^{\phi} \sin(q_r - 2\pi/3);$$

$$i_c = I_2^{\phi} \sin(q_r + 2\pi/3).$$

Частота токов ротора: $f_2 = \omega_r / 2\pi$ будет составлять $0,5 \div 2$ Гц.

В трехфазной неподвижной системе координат четко определены углы между всеми фазами статора и ротора, поэтому можно преобразовать выражение (3.13) для электромагнитного момента:

$$M = -p_n \sum_m (i_A \times i_a \sin \alpha_{Aa} + i_b \times i_a \sin \alpha_{Ab} + i_c \times i_a \sin \alpha_{Ac}) + \\ + i_b \times i_a \sin \alpha_{Ba} + i_b \times i_b \sin \alpha_{Bb} + i_c \times i_b \sin \alpha_{Bc}) + i_c \times (i_a \sin \alpha_{Ca} + i_b \sin \alpha_{Cb} + i_c \sin \alpha_{Cc}))$$

(3.23)

где $\sin a_{Aa} = \sin a_{Bb} = \sin a_{Cc} = \sin 0^\circ = 0$;

$$\sin a_{Ab} = \sin a_{Bc} = \sin a_{Ca} = \sin(120^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2};$$

$$\sin a_{Ac} = \sin a_{Ba} = \sin a_{Cb} = \sin(-120^\circ) = -\sqrt{3}/2.$$

Результирующее выражение для электромагнитного момента в трехфазной системе координат[9]:

$$M = p_n \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times L_m \times (i_A \times i_c + i_B \times i_a + i_C \times i_b) - (i_A \times i_b + i_B \times i_c + i_C \times i_a) \quad (3.22)$$

3.2. Моделирование АД на основе стандартных блоков MATLAB Simulink

В стандартной библиотеке MATLAB Simulink предусмотрен блок «Asynchronous Machine SI Units». Этот блок моделирует асинхронную электрическую машину в двигательном или генераторном режимах. Режим работы определяется знаком электромагнитного момента машины.

Порты модели А, В и С являются выводами статорной обмотки машины. На выходном порту формируется векторный сигнал, состоящий из 21 элемента: токов, потоков и напряжений ротора и статора в неподвижной и вращающейся системах координат, электромагнитного момента, скорости вращения вала, а также его углового положения. Для удобства извлечения переменных машины из вектора в библиотеке SimPowerSystems предусмотрен блок MachinesMeasurement Demux. Модель асинхронной машины включает в себя модель электрической части, представленной моделью пространства состояний четвертого порядка и модель механической части в виде системы второго порядка. Все электрические переменные и параметры машины

приведены к статору. Исходные уравнения электрической части машины записаны для двухфазной (dq)системе координат.

На рисунке 20 изображена имитационная модель АД из библиотеки MATLABSimulink.

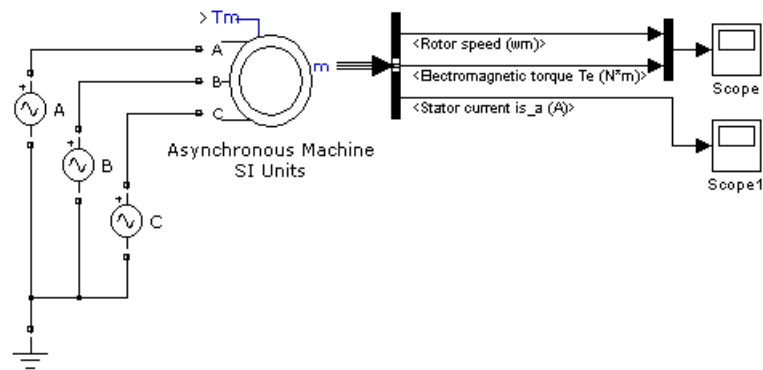


Рисунок 18 - Модель АД из библиотеки MATLAB Simulink

В настройки блока «Asynchronous Machine SI Units» (рисунок 21) внесем параметры асинхронного электродвигателя ДАТЭК-350-03-УХЛ1, рассчитанные в пункте 2.3.

Block Parameters: Asynchronous Machine SI Units

Asynchronous Machine (mask) (link)

Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor, squirrel cage or double squirrel cage) modeled in a selectable dq reference frame (rotor, stator, or synchronous). Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Advanced Load Flow

Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA), Vn(Vrms), fn(Hz)]:

[15000, 380, 50]

Stator resistance and inductance [Rs(ohm) Lls(H)]:

[0.229 0.08652-0.08448]

Rotor resistance and inductance [Rr'(ohm) Llr'(H)]:

[0.224 0.08724-0.08448]

Mutual inductance Lm (H):

0.08448

Inertia, friction factor, pole pairs [J(kg.m^2) F(N.m.s) pQ]:

[0.06 0 2]

Initial conditions

[1 0 0 0 0 0 0]

☐ Simulate saturation

Saturation Parameters [i1,i2,... (Arms) ; v1,v2,...(VrmsLL)]

[1, 302.9841135, 420.4778367 ; 230, 322, 414, 460, 506, 552, 598, 644, 690]

OK Cancel Help Apply

Рисунок 19 - Параметры АД

Результат моделирования, в виде переходного процесса скорости и момента двигателя, изображен на рисунке 22.

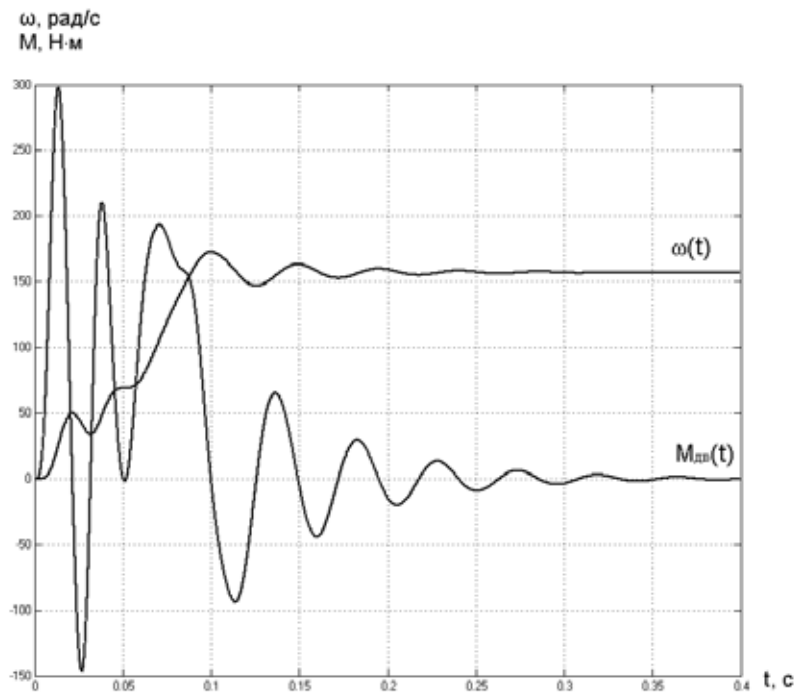


Рисунок 20 - Переходный процесс скорости $\omega(t)$ и $M_{дв}(t)$

Переходный процесс тока в фазе А статора изображен на рисунке 23.

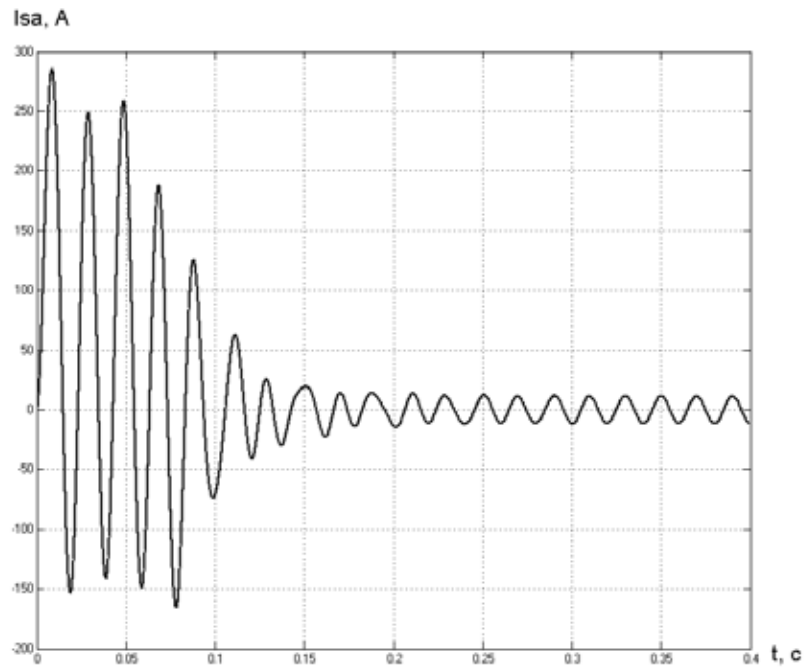


Рисунок 21 – Переходный процесс тока статора в фазе А $I_{sa}(t)$

Теперь можно провести пуск АД под нагрузкой. Для этого на вход блока «Asynchronous Machine SI Units» нужно подать сигнал в виде постоянной

величины. Величина момента нагрузки будет составлять $0,46 \cdot M_H$.
Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя при пуске под нагрузкой приведены на рисунке 24.

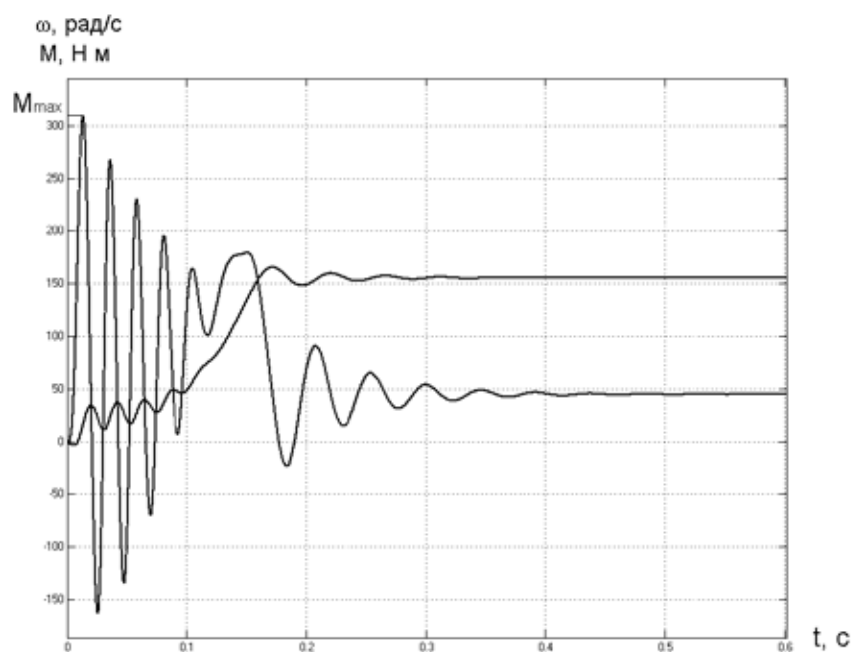


Рисунок 22 - Переходный процесс скорости $\omega(t)$ и $M_{\text{дв}}(t)$ при пуске под нагрузкой

Переходный процесс тока в фазе статора изображен на рисунке 25.

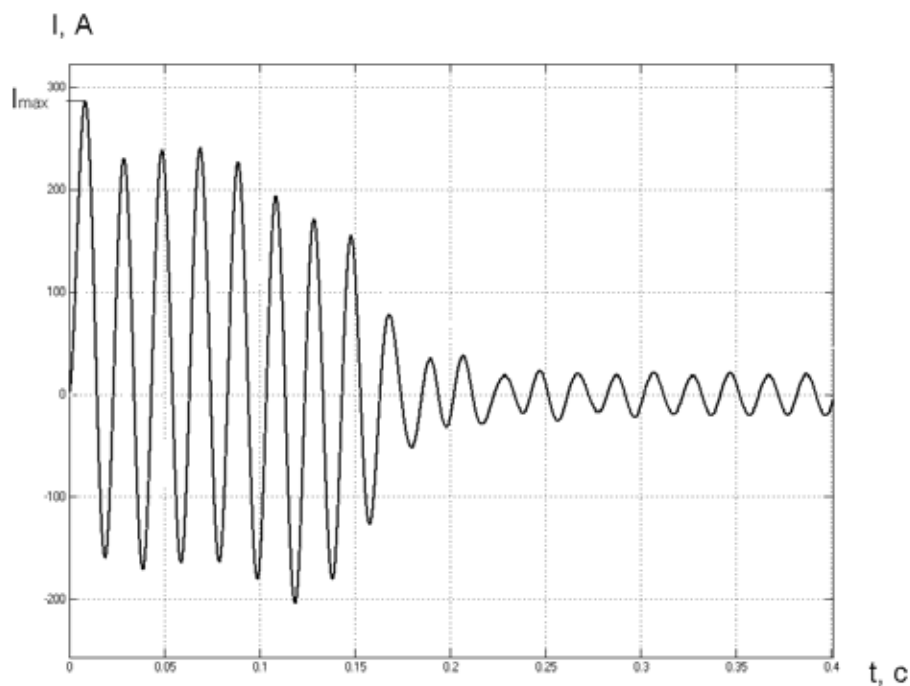


Рисунок 23 - Переходный процесс тока в фазе статора

На рисунках 24 и 25 можно отметить характерные точки: $M_{max} = 310,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ - максимальный момент двигателя при пуске под нагрузкой; $I_{max} = 286,8 \text{ А}$ - максимальный ток статора при пуске под нагрузкой.

3.3. Моделирование АД на основе блока S-FunctionBuilder в MATLAB Simulink

В библиотеке MATLAB Simulink предусмотрен блок под названием «S-FunctionBuilder». Он служит для того, чтобы пользователь имел возможность интегрировать внешний код С в модель Simulink. Используя блок «S-Function Builder», можно создать модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, которая будет полностью соответствовать математическому описанию такого электродвигателя

В данной работе будет построена модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в естественной (трехфазной) системе координат. Математическое описание машины приведено в главе 3.1.

Модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, построенная с помощью блока «S-Function Builder», представлена на рисунке 26.

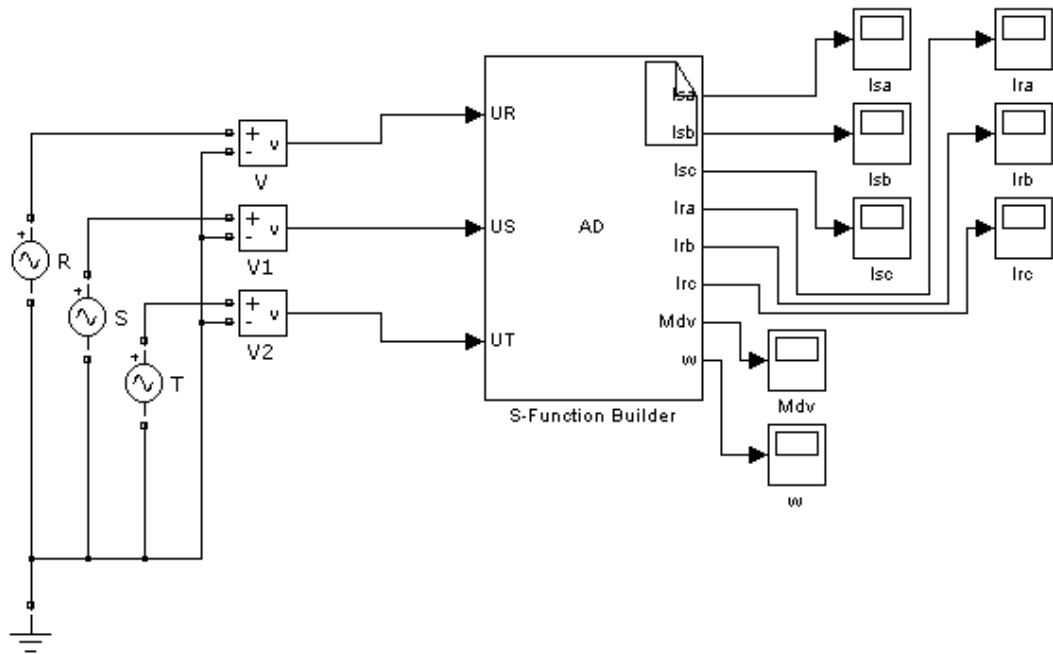


Рисунок 24 – Имитационная модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Блоки R, S и T отвечают за имитацию трехфазного напряжения сети. Амплитуда напряжения в каждом из этих блоков равна $\sqrt{2} \cdot 220 \approx 311$ В, частота равна 50 Гц. Сдвиги по фазам у блоков R, S и T составляют соответственно 0° , 120° и 240° . Блоки V1, V2 и V3 передают сигналы с R, S и T на соответствующие входы блока S-Function Builder, отвечающего за имитацию асинхронного двигателя. На выходе этого блока можно наблюдать сигналы токов в каждой обмотке ротора и статора, момент двигателя и скорость вращения ротора двигателя.

Как было сказано в главе 3.1, необходимо решить дифференциальное уравнение (3.21), описывающее асинхронный двигатель в трехфазной системе координат. Это уравнение записано в матричном виде, и решить его требуется относительно матрицы токов ротора и статора.

Данное уравнение приведено к нормальной форме Коши. Решение будет проводиться методом Эйлера. Суть метода Эйлера заключается в том, что необходимо заменить функцию $y(x)$ на отрезке интегрирования прямой линией, которая является касательной к графику в точке $x = x_i$. Погрешность будет большой, если искомая функция сильно отличается от линейной на отрезке интегрирования. Таким образом необходимо уменьшать значение шага интегрирования h для уменьшения погрешности вычисления. На рисунке 27 отображена суть метода Эйлера для участка функции от x_i до x_{i+1} .

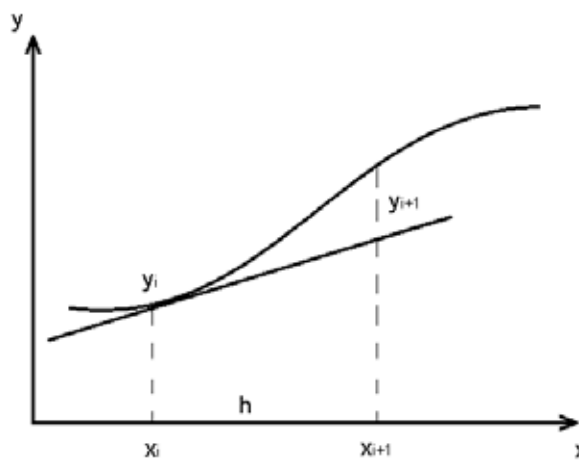


Рисунок 25 - Пояснение к методу Эйлера

Ниже будут приводиться части из кода, записанного в блоке S-Function Builder, и пояснения к ним.

Сначала объявляются все переменные, которые будут использоваться в ходе расчетов. В том числе и параметры электродвигателя, найденные в главе 2.3.

```
const float J=0.06, rs=0.229, xm=0.08448, xr=0.08724, xs=0.08652, rr=0.224,
dt=0.00005555;
unsigned static polus=2, Mc = 0;
float static c, psira, psirb, psirc, cur[6], vol[6], L[6][6], ww=0, M=0;
unsigned static g = 0, p = 0;
```

Здесь J – момент инерции двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; r_s – активное сопротивление статорной обмотки, Ом; r_r – активное сопротивление роторной обмотки,

приведенное к обмотке статора, Ом; x_s – индуктивность фазы статорной обмотки, Гн; x_r – индуктивность фазы роторной обмотки, Гн; x_m – максимальная приведенная взаимная индуктивность между фазами статора и ротора, Гн; dt – шаг интегрирования при решении дифференциального уравнения методом Эйлера, сек; $polus$ – количество пар полюсов электродвигателя; M_c – нагрузка двигателя, Н · м; c, g, p – вспомогательные переменные; $psira, psirb, psirc$ – потокосцепления; ww, M – начальные значения скорости и момента двигателя; $cur[6], vol[6]$ – соответственно матрицы токов и напряжений обмоток ротора и статора; $L[6][6]$ – обратная матрица индуктивностей;

Значения элементов обратной матрицы индуктивностей $L[6][6]$ были найдены по методике, описанной в главе 3.1, и приведены ниже:

```
L[1][1] = 303.748;    L[1][2] = 92.977;    L[1][3] = 92.977;
L[1][4] = -137.518;  L[1][5] = 68.759;    L[1][6] = 68.759;
L[2][1] = 92.977;    L[2][2] = 303.748;    L[2][3] = 92.977;
L[2][4] = 68.759;    L[2][5] = -137.518;  L[2][6] = 68.759;
L[3][1] = 92.977;    L[3][2] = 92.977;    L[3][3] = 303.748;
L[3][4] = 68.759;    L[3][5] = 68.759;    L[3][6] = -137.518;
L[4][1] = -137.518;  L[4][2] = 68.759;    L[4][3] = 68.759;
L[4][4] = 260.449;   L[4][5] = 50.849;    L[4][6] = 50.849;
L[5][1] = 68.759;    L[5][2] = -137.518;  L[5][3] = 68.759;
L[5][4] = 50.849;    L[5][5] = 260.449;   L[5][6] = 50.849;
L[6][1] = 68.759;    L[6][2] = 68.759;    L[6][3] = -137.518;
L[6][4] = 50.849;    L[6][5] = 50.849;    L[6][6] = 260.449;
```

Далее реализуется алгоритм метода Эйлера. Вычисляются значения напряжения обмоток статора и ротора, необходимые для вычисления матрицы токов статора и ротора.

```
vol[1]=UR[0]-rs*cur[1];
vol[2]=US[0]-rs*cur[2];
vol[3]=UT[0]-rs*cur[3];
```

```

psira= xm*cur[1]-0.5*xm*cur[2]-0.5*xm*cur[3]+xr*cur[4]-0.5*xm*cur[5]-
0.5*xm*cur[6];
psirb=-0.5*xm*cur[1]+xm*cur[2]-0.5*xm*cur[3]-0.5*xm*cur[4]+xr*cur[5]-
0.5*xm*cur[6];
psirc=-0.5*xm*cur[1]-0.5*xm*cur[2]+xm*cur[3]-0.5*xm*cur[4]-
0.5*xm*cur[5]+xr*cur[6];
vol[4]=(-1)*rr*cur[4]-polus*ww*(psirb-psirc)/sqrt(3);
vol[5]=(-1)*rr*cur[5]-polus*ww*(psirc-psira)/sqrt(3);
vol[6]=(-1)*rr*cur[6]-polus*ww*(psira-psirb)/sqrt(3);

```

Алгоритм заполнения матрицы токов:

```

for(g = 1; g<= 6; g++)
{
c=0;
for(p = 1; p <= 6; p++)
{
c=c+L[g][p]*vol[p];
}
cur[g]=cur[g]+dt*c;
}

```

Теперь с помощью найденной матрицы токов можно найти момент, создаваемый двигателем, и скорость вращения ротора.

```

M =polus*(sqrt(3)/2)*xm*((cur[1]*cur[6]+cur[2]*cur[4]+cur[3]*cur[5])-
(cur[1]*cur[5]+cur[2]*cur[6]+cur[3]*cur[4]));
ww = ww + (M-Mc)*dt/J;

```

Выводим найденные зависимости от времени токов обмоток ротора и статора, скорости вращения ротора, момента двигателя на выход блока S-FunctionBuilder.

```

w[0] = ww;
Mdv[0] = M;
Isa[0] = cur[1];
Isb[0] = cur[2];
Isc[0] = cur[3];
Ira[0] = cur[4];
Irb[0] = cur[5];
Irc[0] = cur[6];

```

На рисунке 28 показаны зависимости скорости вращения ротора и момента двигателя от времени, полученные на выходе блока S-Function Builder.

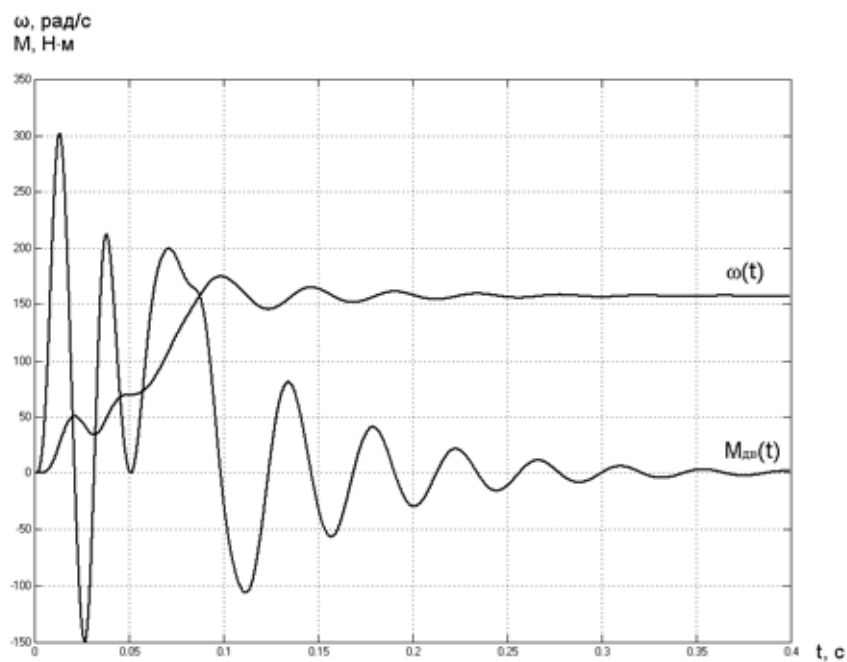


Рисунок 26 – Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя

Переходный процесс тока в фазе А статора изображен на рисунке 29.

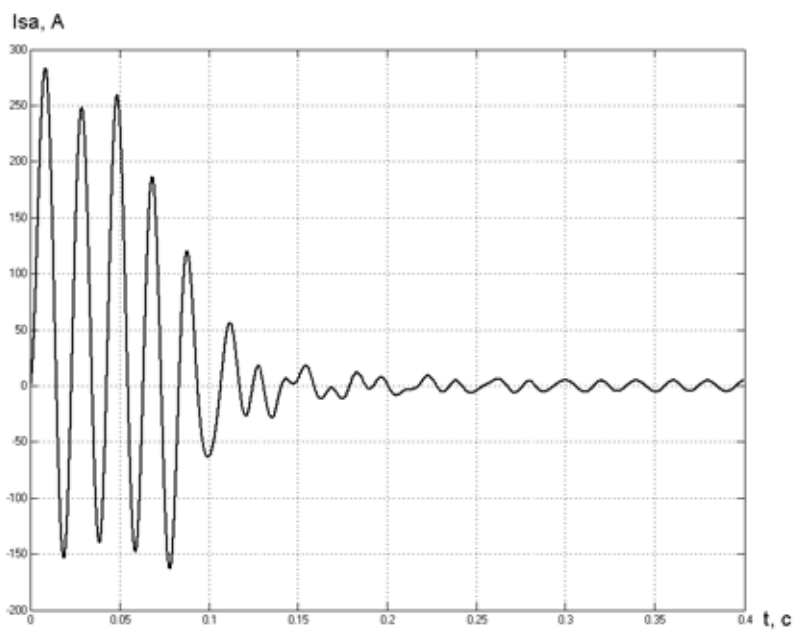


Рисунок 27 – Переходный процесс тока в фазе статора

Теперь можно провести пуск АД под нагрузкой. Для этого в блоке «S-Function Builder» нужно поменять значение момента нагрузки « M_c » на значение требуемой нагрузки. Величина момента нагрузки будет составлять $0,46 \cdot M_n$. Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя при пуске под нагрузкой приведены на рисунке 30.

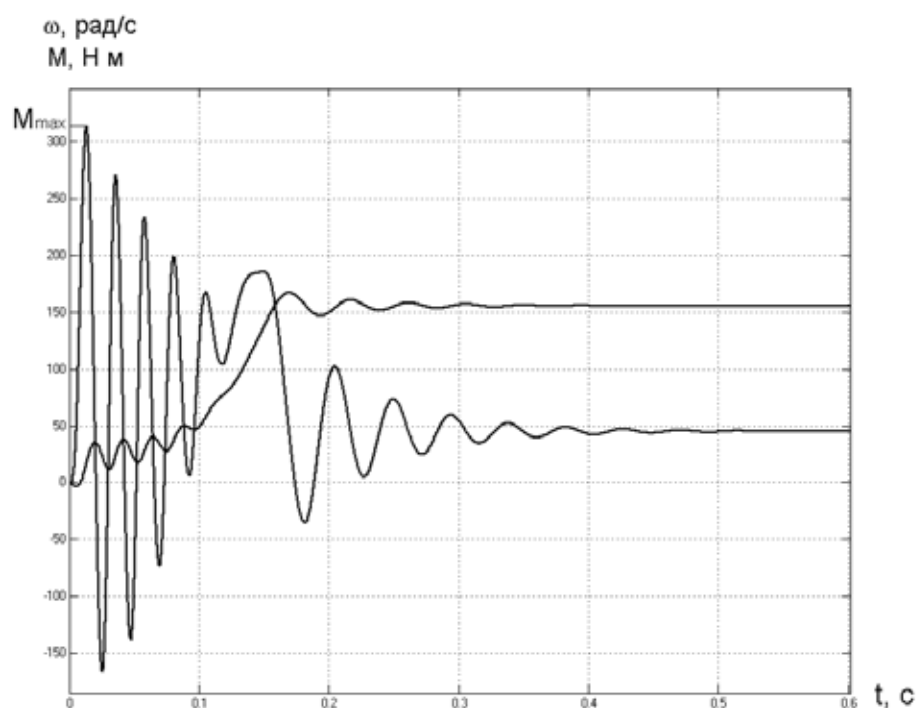


Рисунок 28 – Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя

Переходный процесс тока в фазе статора изображен на рисунке 31.

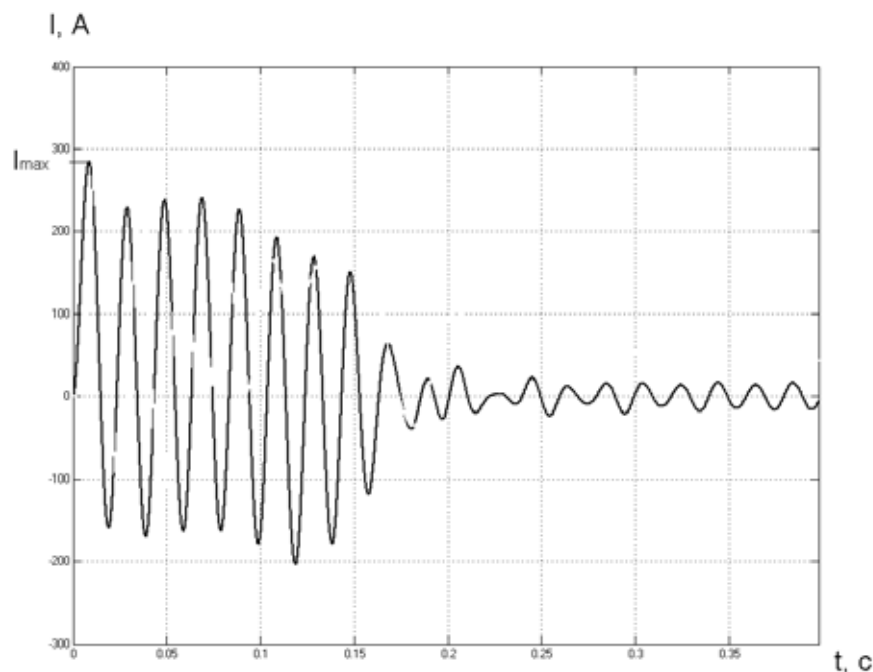


Рисунок 29 – Переходный процесс тока в фазе статора

На рисунках 30 и 31 можно отметить характерные точки: $M_{max} = 313,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ - максимальный момент двигателя при пуске под нагрузкой; $I_{max} = 285 \text{ А}$ - максимальный ток статора при пуске под нагрузкой.

Сравнивая значения характерных точек, найденных в главе 3.2 и 3.3 можно сделать вывод о идентичности модели асинхронного двигателя, построенной на основе стандартного блока MATLAB Simulink «Asynchronous Machine SI Units», и модели, построенной при помощи блока S-Function Builder.

Для подтверждения идентичности моделей можно провести опыт по набросу номинальной нагрузки после достижения асинхронным двигателем установившегося значения скорости.

На рисунке 32 приведен график переходного процесса скорости при набросе нагрузки в модели АД на основе стандартного блока MATLAB Simulink «Asynchronous Machine SI Units».

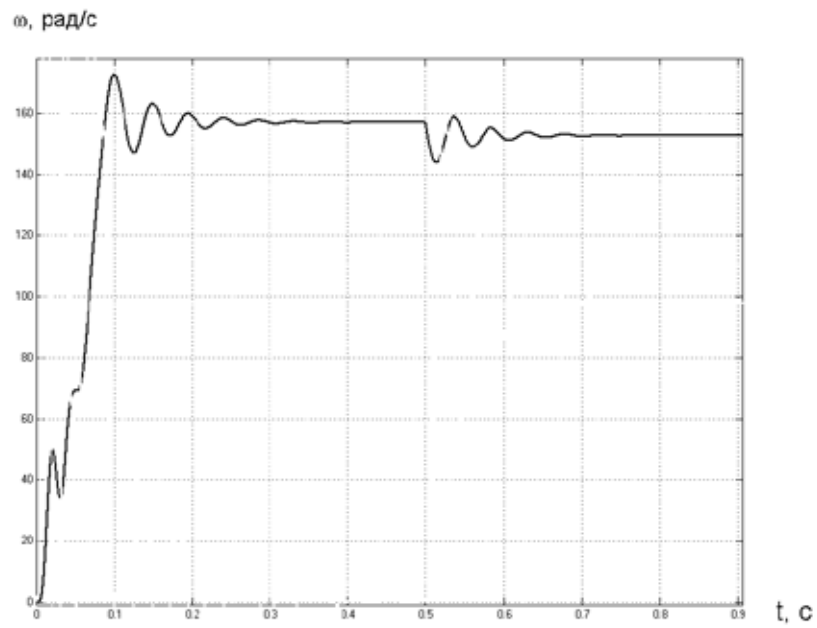


Рисунок 30 – Переходный процесс скорости при набросе нагрузки

На рисунке 33 приведен график переходного процесса скорости при набросе нагрузки в модели АД на основе блока MATLAB Simulink «S-Function Builder».

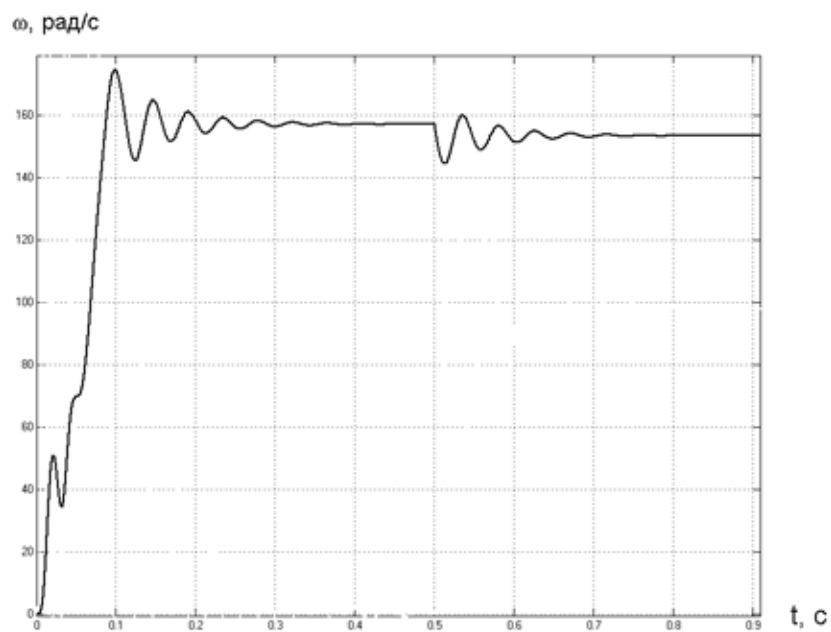


Рисунок 31 - Переходный процесс скорости при набросе нагрузки

В первом случае при набросе нагрузки произошла просадка скорости АД на величину $\Delta\omega = 157,1 - 152,9 = 4,2$ рад/с. Во втором случае $\Delta\omega = 157,1 - 153,4 = 3,7$ рад/с.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что во втором случае модель построена верно. То есть математическое описание асинхронного двигателя в трехфазной системе координат, реализованное при помощи блока S-Function Builder, отображает реально существующие переходные процессы в АД (с учетом допущений, принятых в начале главы 3.1).

В дальнейших исследованиях примем модель, построенную при помощи блока S-Function Builder, за основу.

3.4.Тиристорный регулятор напряжения

Для получения возможности регулировать напряжение на обмотках статора необходимо дополнить исходную схему (рисунок 24) тиристорным регулятором напряжения. В данной работе модель ТРН будет построена при помощи блока S-Function Builder.

Имитационная модель системы ТРН – АД приведена на рисунке 34.

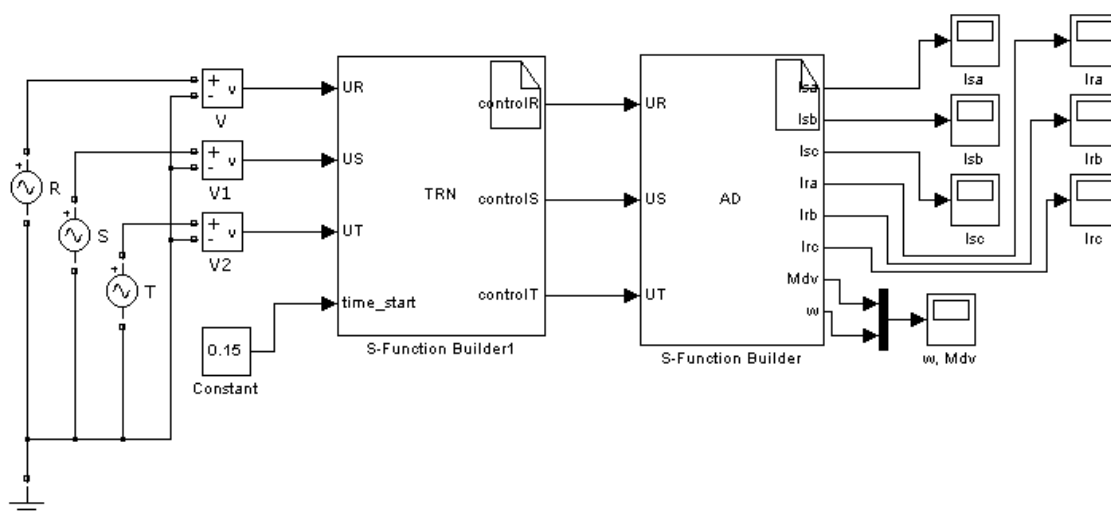


Рисунок 32 - Имитационная модель системы ТРН - АД

В данном случае напряжение сети подается на входы UR, US и UT блока, имитирующего работу ТРН (S-Function Builder1). Форма напряжения меняется в соответствии с алгоритмом, заложенным в блоке ТРН.

Ниже приведен код на языке C, записанный в блоке S-Function Builder1, и комментарии к этому коду.

Сначала необходимо задать переменные:

```
unsigned static pilaR = 0, pilaS = 0, pilaT = 0, alpha = 160, timer_st = 0;  
int static prevUR = 0, prevUS = 0, prevUT = 0;
```

Здесь pilaR, pilaS, pilaT – начальные значения пилообразных сигналов в фазе R, S и T соответственно; alpha – начальное значение угла управления тиристорами; timer_st – начальное значение задерживающего таймера (для реализации алгоритма плавного уменьшения угла управления); prevUR, prevUS, prevUT – начальные значения напряжений на предыдущем интервале времени.

Чтобы иметь возможность изменять время раскрытия угла управления, необходимо на входе блока ТРН создать входную переменную, например, time_start, на которую будет подаваться время раскрытия угла управления с помощью блока константы.

Для плавного раскрытия угла управления будем изменять его в пределах от 160 град (на выходе малое напряжение) до 10 град (на выходе большое напряжение). Данные пределы угла alpha выбраны с небольшим запасом от точки перехода через ноль. Это сделано для исключения возможности подачи импульса за пределами текущей полволны напряжения.

Каждый такт программы мы увеличиваем таймер timer_st на «1». И если таймер достиг некоторого числа (таймаут), то мы уменьшаем угол на «1» и обнуляем таймер. Таймаут рассчитываем исходя из числа операций в секунду

(18000), умножаем на количество секунд заданных блоком Constant, и делим на количество операций, которое надо будет сделать ($160 - 10 = 150$).

Последние две строчки предотвращают выход переменной alpha за обозначенные пределы: 10 и 160 град.

```
if (timer_st++ > (18000*time_start[0]/150))
{
    alpha--;
    timer_st = 0;
}
if (alpha > 160) alpha = 160;
if (alpha < 10) alpha = 10;
```

Создание бесконечно нарастающего сигнала с единичным шагом:

```
pilaR++;
pilaS++;
pilaT++;
```

Алгоритм нахождения перехода через ноль сигнала напряжения сети. Этот алгоритм обнуляет сигналы pilaR, pilaS и pilaT в момент прохождения через 0 сигнала соответствующей фазы.

```
if (((prevUR <= 0) && (UR[0] > 0)) || ((prevUR >= 0) && (UR[0] < 0)))
    pilaR = 0;
if (((prevUS <= 0) && (US[0] > 0)) || ((prevUS >= 0) && (US[0] < 0)))
    pilaS = 0;
if (((prevUT <= 0) && (UT[0] > 0)) || ((prevUT >= 0) && (UT[0] < 0)))
    pilaT = 0;
```

Присвоение текущего значения напряжения предыдущему:

```
prevUR = UR[0];
prevUS = US[0];
prevUT = UT[0];
```

Формирование напряжения на выходе блока ТРН. Значение напряжения на выходе фазы R будет нулевым до тех пор, пока значение пилообразного

сигнала $pilaR$ не станет больше текущего угла управления α . Когда же значение $pilaR$ станет больше угла управления α , значение напряжения на выходе блока ТРН станет равным сигналу UR (напряжение фазы R). Аналогично для фаз S и T.

```

if (pilaR < alpha)
    controlR[0] = 0;
else controlR[0] = UR[0];

if (pilaS < alpha)
    controlS[0] = 0;
else controlS[0] = US[0];

if (pilaT < alpha)
    controlT[0] = 0;
else controlT[0] = UT[0];

```

С помощью такого алгоритма формируются сигналы на выходе блока ТРН. Форма напряжения в фазе R показана на рисунке 35.

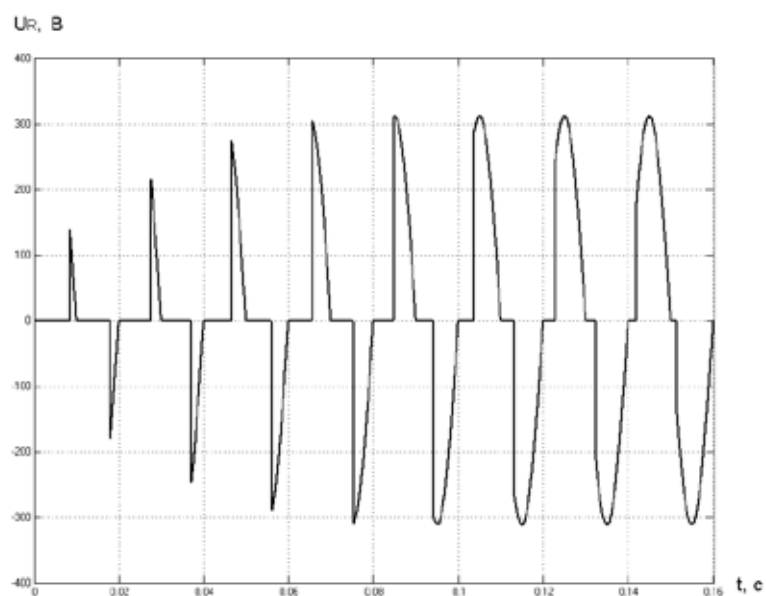


Рисунок 33 - Форма напряжения в фазе R

Видно, что в заданный промежуток времени (0,15 с) происходит изменение угла управления в заданных пределах (от 160° до 10°).

Таким образом реализуется плавный пуск АД. Графики переходных процессов изображены на рисунке 36.

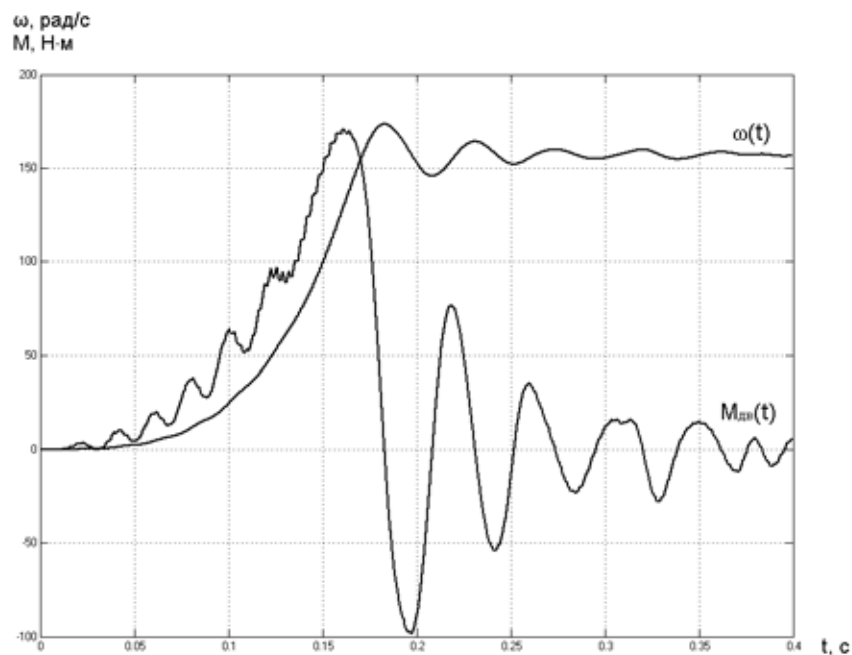


Рисунок 34 - Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя

График переходного процесса тока в фазе статора приведен на рисунке 37.

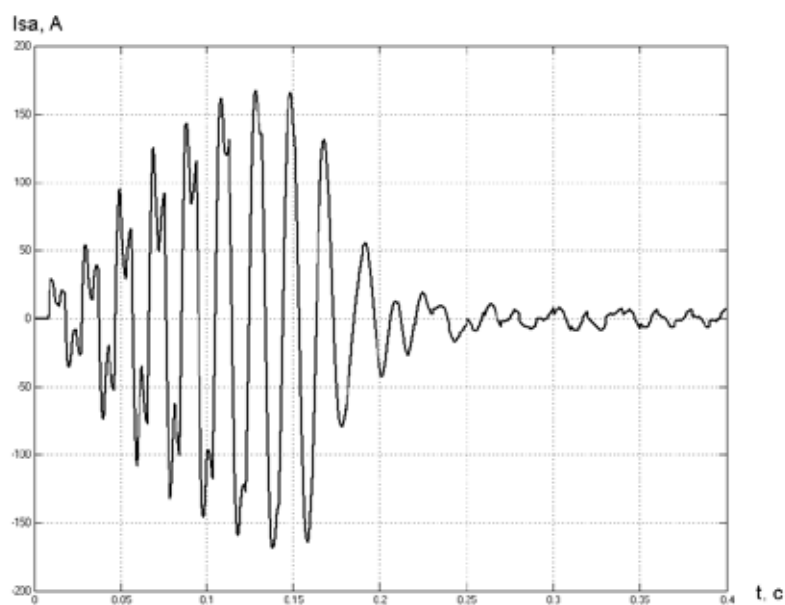


Рисунок 35 - Переходный процесс тока в фазе статора

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие наблюдения.

Максимальное значение момента двигателя при пуске с ТРН составляет $M_{max} = 173 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Максимальное значение тока $I_{max} = 168 \text{ А}$. Эти значения можно сравнить со значениями максимального момента и тока при прямом пуске АД (рисунки 26 и 27). Максимальное значение момента при прямом пуске – $303 \text{ Н} \cdot \text{м}$, максимальное значение тока – 283 А .

Таким образом, при использовании ТРН можно существенно снизить броски момента и токов асинхронного двигателя при пуске. В данном случае бросок момента снизился на 42 %. Значение пускового тока снизилось на 40 %. За счет этого значительно снижаются удары в механизме при пуске, что позволяет существенно экономить ресурс электропривода и механизма, которым управляет данный электропривод.

4. Исследование динамических режимов ТРН – АД

4.1. Динамическое торможение

Режим динамического торможение АД осуществляется отключением двигателя от сети переменного тока и подключением его двух статорных обмоток к источнику постоянного тока. Величину постоянного тока можно регулировать при помощи сопротивления $R_{\text{п}}$.

Схема, с помощью которой реализуется режим динамического торможения, изображена на рисунке 38.

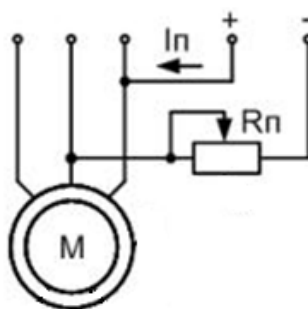


Рисунок 36 - Схема динамического торможения АД

При отключении АД от сети переменного тока, перестает существовать переменное магнитное поле. При подключении АД к источнику постоянного тока, появляется постоянное магнитное поле, которое наводит ЭДС в роторе. Таким образом, в роторе начинает протекать ток, который создает неподвижный относительно статора магнитный поток. Взаимодействие тока ротора и результирующего магнитного поля асинхронного двигателя создает тормозной момент.

Механическая характеристика динамического торможения приведена на рисунке 39.

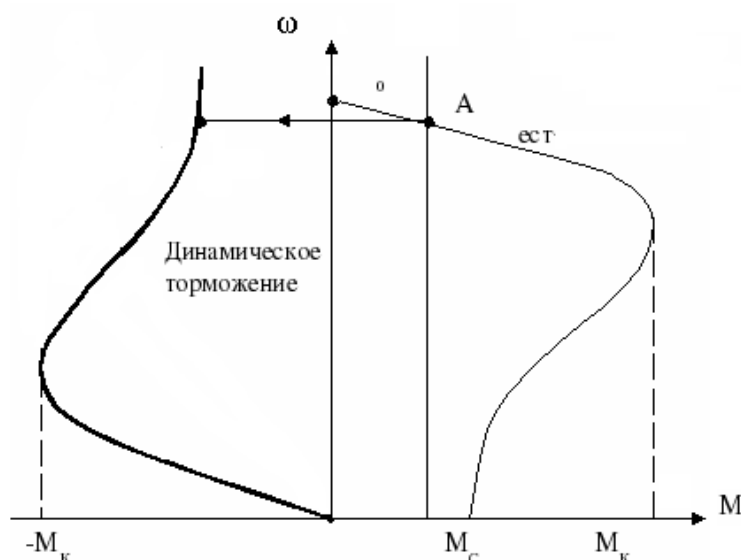


Рисунок 37 - Механические характеристики при динамическом торможении

На рисунке 40 стрелками показан путь протекания тока I , создающего постоянное магнитное поле, в системе ТРН – АД при динамическом

торможении. Одну из фаз ТРН необходимо полностью отключить. То есть тиристоры VS5 и VS6 выводятся из работы. Тиристоры VS1 и VS4 так же отключаются. Таким образом в фазе C1 проходит только положительная полуволна напряжения, а в фазе C2 – отрицательная.

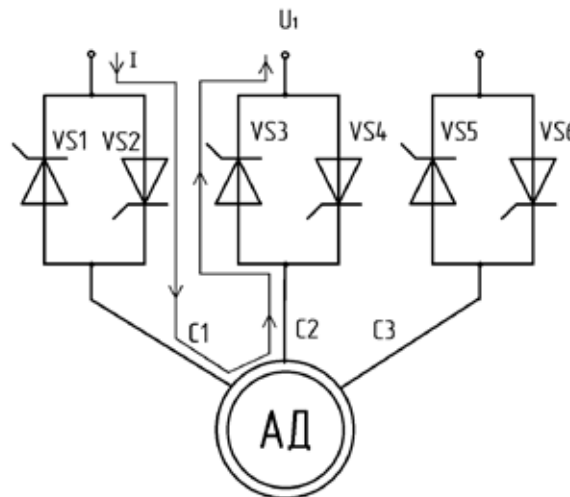


Рисунок 38 - Схема протекания тока при динамическом торможении

Для реализации режима динамического торможения в программной среде MATLABSimulinkнеобходимо внести определенные коррективы в алгоритм работы ТРН.

В блок, отвечающий за имитацию работы ТРН (S-Function Builder1 на рисунке 34), необходимо добавить следующий код.

Убираем в фазе R отрицательную полуволну напряжения, а в фазе S– положительную полуволну:

```
if (torm[0] > 0.8)
{
if (UR[0] > 0)
aR = UR[0];
else aR = 0;

if (US[0] < 0)
aS = US[0];
else aS = 0;
```

Для полученных сигналов a_R и a_S задается угол управления α_1 , и эти сигналы выводятся на выход блока ТРН. В фазу Т прекращается подаваться напряжение.

```
if (pilaR < alpha1[0])
    controlR[0] = 0;
else controlR[0] = aR;

if (pilaS < alpha1[0])
    controlS[0] = 0;
else controlS[0] = aS;

controlT[0] = 0;
```

Добавлены новые переменные: a_R и a_S – переменная, необходимая для формирования требуемой формы напряжения на выходе ТРН; $torm[0]$ – вход блока ТРН, отвечающий за отсчет времени; $\alpha_1[0]$ – угол управления, с которым будет осуществляться динамическое торможение (170°).

Переменная $torm[0]$ является счетчиком. При достижении этим счетчиком определенного значения, начинается осуществление алгоритма динамического торможения двигателя. То есть в фазы R и S начинают подаваться сигналы a_R и a_S соответственно, а на фазу Т перестает подаваться напряжение.

На рисунке 41 показаны графики переходных процессов скорости вращения ротора и момента двигателя. При чем в момент времени $t=0.5c$ происходит наброс нагрузки до значения $0,46 \cdot M_H$, а в момент времени $t=0.8c$ начинается процесс динамического торможения. Угол управления, с которым происходит торможения двигателя, равен 170° .

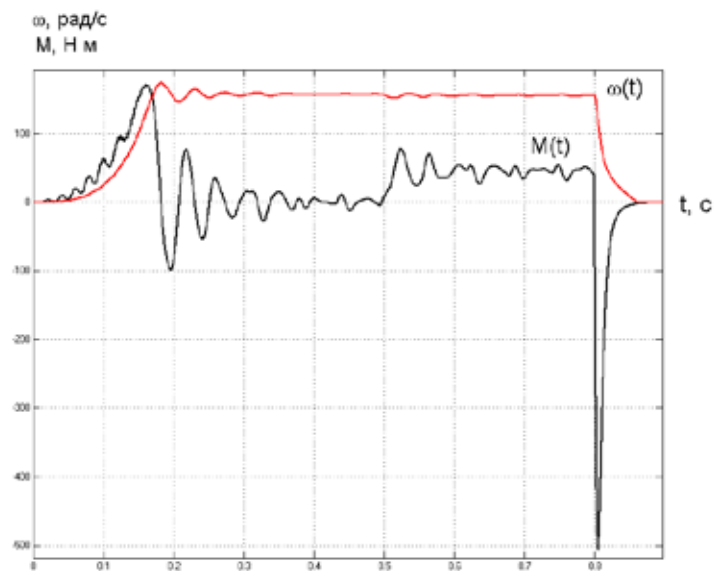


Рисунок 39 – Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя при динамическом торможении

График переходного процесса тока в фазе статора приведен на рисунке 42.

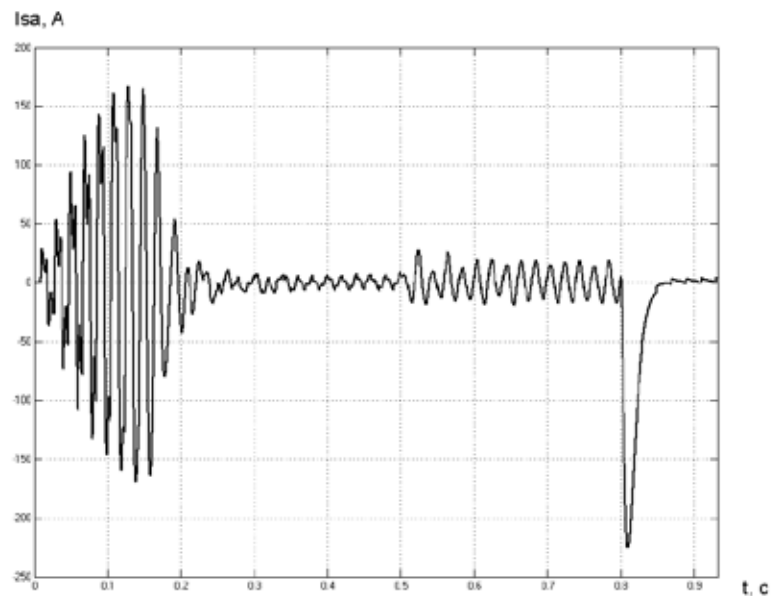


Рисунок 40 - Переходный процесс тока фазы статора

Как видно из полученных результатов, во время динамического торможения в фазах статора возникают большие токи ($I_{sa} = -255 \text{ A}$). Следствием этого является большой тормозной момент, который позволяет затормозить ротор АД наиболее эффективно.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

| Группа | ФИО |
|---------|--------------------------------|
| 3-5Г4Б1 | Новосельцев Вадим Владимирович |

| Школа | Инженерная школа энергетики | Отделение | ОЭЭ |
|---------------------|-----------------------------|--|------------------------------------|
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/130302 Электроэнергетика и электротехника | Электроэнергетика и электротехника |

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|---|---|
| 1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): материально-технических, энергетических, финансовых и информационных | "Положению об оплате труда ТПУ". Приказ 25.05.2016 №5994 |
| 2. Продолжительность выполнения ТП | По приблизительной оценке, продолжительность ТП составляет 110 рабочих дня. |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|---|
| 1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта (ТП) с позиции ресурсоэффективности | Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, а ресурсоэффективность ТП с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности. |
| 2. Планирование графика работ по реализации ТП | При использовании графика работ по реализации ТП используется оценка трудоёмкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным составляется ленточная диаграмма Ганта. |
| 3. Составление сметы ТП | При составлении сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям; - материальные затраты - полная заработная плата исполнителей - отчисления во внебюджетные страховые фонды - накладные расходы |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|--------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент, отделение социально-гуманитарных наук | Мелик-Гайказян Мария Вигеновна | к.э.н., доцент | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---------|--------------------------------|---------|------|
| 3-5Г4Б1 | Новосельцев Вадим Владимирович | | |

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является подтверждение целесообразности разработки технического проекта (ТП), отвечающего всем нынешним требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для достижения цели в данном разделе рассмотрены следующие задачи:

- составление SWOT- Регулируемый электропривод клиновой задвижки, на основе ТРН-АД;
- планирование технико-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

Область применения – сети магистральных трубопроводов и других объектов трубопроводного транспорта ПАО «ТРАНСНЕФТЬ».

5.1. SWOT-анализ работы регулируемого электропривода клиновой задвижки, на основе ТРН-АД

SWOT – представляет собой комплексный анализ проекта. SWOT анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, которые помогают оценить возможности, угрозы сильных и слабых сторон [24]:

Для того что бы найти сильные и слабые стороны проведем SWOT–анализ. Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде (табл. 1).

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы;

Составление предварительной матрицы SWOT-анализа (таблица 2).
Таблица 2 –Итоговая матрица SWOT-анализа

| | | |
|--|--|---|
| | Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4.Повышение производительности труда. С5. Квалифицированный персонал. С6. Высокий срок эксплуатации. С7.Надежность данной системы по сравнению с другими. С8. Высокое качество продукции. С9. Простота системы управления. | Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл2. Большой срок выхода на рынок Сл3. Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения |
| Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследований В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Развитие технологий в данной отрасли | В1С2С5С7С8С9 В2С1С2С3С4С6С7С8С9 В3С1С3С4С6С7С9 В4С1С5С6С7С8С9 В5С1С3С4С5С6С7С8С9 | В5Сл1Сл3 |
| Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4.Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос. У5. Появление новых конкурентных разработок. | У1С5 У2С9 У3С1С3С4С6 У5С5 | У1Сл1 У2Сл3 У3Сл1Сл2Сл3 У4Сл1Сл3 У5Сл1Сл3 |

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Полученная интерактивная матрица проекта представлена в таблице 3-4.

Таблица 3 –Интерактивная матрица проекта

| Возможности проекта | Сильные стороны проекта | | | | | | | | |
|---------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 |
| B1 | 0 | + | 0 | 0 | + | 0 | + | + | + |
| B2 | + | + | + | + | - | + | + | + | + |
| B3 | + | - | + | + | - | + | + | 0 | + |
| B4 | + | - | - | 0 | + | + | + | + | + |
| B5 | + | 0 | + | + | + | + | + | + | + |
| Возможности проекта | Слабые стороны проекта | | | | | | | | |
| | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 | Сл5 | Сл6 | Сл7 | Сл8 | Сл9 |
| B1 | - | - | - | | | | | | |
| B2 | - | - | - | | | | | | |
| B3 | - | - | - | | | | | | |
| B4 | - | - | 0 | | | | | | |
| B5 | + | 0 | + | | | | | | |

Таблица 4 –Интерактивная матрица проекта

| Угрозы | Сильные стороны проекта | | | | | | | | |
|--------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 |
| У1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| У2 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - | + |
| У3 | + | 0 | + | + | - | + | 0 | 0 | 0 |
| У4 | - | - | - | 0 | - | - | - | - | - |
| У5 | 0 | - | - | - | + | - | - | - | - |
| Угрозы | Слабые стороны проекта | | | | | | | | |
| | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 | Сл5 | Сл6 | Сл7 | Сл8 | Сл9 |
| У1 | + | 0 | 0 | | | | | | |
| У2 | - | 0 | + | | | | | | |
| У3 | + | + | + | | | | | | |
| У4 | + | - | + | | | | | | |
| У5 | + | 0 | + | | | | | | |

Из проведенного SWOT-анализа видно, что сильных сторон у проекта больше, чем слабых. Проект имеет высокую энергоэффективность, повышенную безопасность и экологичность технологии, более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями, которые в свою очередь обеспечивают высокое качество продукции, а также большой срок эксплуатации.

Среди слабых сторон можно выделить отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой, высокая стоимость лицензионного программного обеспечения.

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках технического проекта.

5.2. Организация работ технического проекта (ТП)

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проекта;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования регулируемого электропривода клиновой задвижки, на основе ТРН-АД (область применения магистральный трубопровод).

5.2.1 Структура работ в рамках технического проекта

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель и дипломник. Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ. Результат представлен в таблице 5.

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 5:

№ 1 – Ознакомление с производственной документацией – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к проекту, составление задания и плана;

№ 2 – Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – Описание объекта автоматизации (модернизации) – расчет электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм;

№ 4 – Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП – выбор конфигурации схемы электроснабжения, расчет суммарных электрических нагрузок;

№ 5 – Расчет параметров двигателя и модели – выбор защитной аппаратуры, расчет сопротивлений, значений напряжения;

№ 6 – Выбор способа регулирования скорости – регулирование скорости АД при питании от тиристорного регулятора напряжения (ТРН).

№ 7 – Расчет предельных характеристик системы «преобразователь – электродвигатель» – принцип работы асинхронного двигателя, способы регулирования скорости, определение предельных характеристик.

№ 8 – Оценка эффективности полученных результатов – проверка соответствия выполненного проекта исходным требованиям с учетом ресурсо- и энергоэффективности;

№ 9 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;

№ 10 – Проверка выпускной квалификационной работы руководителем - в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником.

№ 11 – Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации, согласование с преподавателем для защиты перед аттестационной государственной комиссией.

Таблица 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № раб | Содержание работ | Должность исполнителя |
|--|-------|---|---------------------------------|
| Разработка технического задания | 1 | Ознакомление с производственной документацией | Научный руководитель |
| Выбор направления технического проектирования участка | 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Дипломник |
| Расчеты и проектирование системы регулируемого электропривода клиновой задвижки на основе ТРН-АД | 3 | Описание объекта автоматизации (модернизации) | Дипломник, научный руководитель |
| | 4 | Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП | Дипломник, научный руководитель |
| | 5 | Расчет параметров двигателя и модели | Дипломник, научный руководитель |
| | 6 | Выбор способа регулирования скорости | Дипломник, научный руководитель |
| | 7 | Расчет предельных характеристик системы «преобразователь– электродвигатель» | Дипломник |

| | | | |
|--|----|--|------------------------------------|
| Обобщение и оценка результатов | 8 | Оценка эффективности полученных результатов | Дипломник, Научный руководитель |
| Оформление отчета по техническому проектированию | 9 | Составление пояснительной записки | Дипломник |
| | 10 | Проверка выпускной квалификационной работы руководителем | Научный руководитель |
| Сдача выпускной квалификационной работы | 11 | Подготовка к защите ВКР | Дипломник, Научный руководитель |

В результате определения структуры работ в рамках технического проекта было выявлено шесть основных этапов (разработка технического задания, выбор направления технического проектирование участка, расчеты и проектирование системы регулируемого электропривода клиновой задвижки, обобщение и оценка результатов, оформление отчета по техническому проектированию, сдача выпускной квалификационной работы) и 11 работ.

5.2.2. Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула [24]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

5.2.3. Порядок составления этапов подготовки производства и распределение исполнителей

В таблице 6 представлены порядок перечень этапов, временные показатели проведения работ и распределение обязанностей между исполнителями проекта.

Таблица 6 – Календарная продолжительность работ, раб. дн.

| Название работы | Исполнители | Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы (t_{min}) | Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы (t_{max}) | Ожидаемая трудоемкость выполнения i-ой работы ($t_{ож}$) |
|--|----------------------|---|--|--|
| 1.Ознакомление с производственной документацией | Научный руководитель | 1 | 1 | 1 |
| 2.Подбор и изучение материалов по теме | Дипломник | 2 | 6 | 4 |
| 3.Описание объекта автоматизации (модернизации) | Научный руководитель | 1 | 1 | 1 |
| | Дипломник | 20 | 24 | 22 |
| 4.Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП | Научный руководитель | 1 | 1 | 1 |
| | Дипломник | 20 | 24 | 22 |
| 5.Расчет параметров двигателя и модели Выбор способа регулирования скорости | Научный руководитель | 1 | 1 | 1 |
| | Дипломник | 16 | 23 | 19 |
| 6.Расчет внутризаводской сети предприятия | Научный руководитель | 1 | 1 | 1 |
| | Дипломник | 4 | 7 | 5 |
| 7. Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель» | Научный руководитель | 1 | 1 | 1 |
| | Дипломник | 15 | 19 | 17 |
| 8. Оценка эффективности | Научный руководитель | 1 | 1 | 1 |

| | | | | |
|--|-----------------------|---|----|---|
| полученных результатов | Дипломник | 7 | 9 | 8 |
| 9. Составление пояснительной записки | Дипломник | 4 | 13 | 8 |
| 10. Проверка выпускной квалификационной работы руководителем | Научный руководитель | 1 | 1 | 1 |
| 11. Сдача и защита выпускной квалификационной работы | Научный руководитель, | 1 | 3 | 2 |
| | Дипломник | 2 | 4 | 3 |

7.2.4. Разработка графика проведения технического проекта

В рамках планирования технического проекта необходимо построить ленточный график проекта.

Диаграмма Ганта – представляет собой ленточную диаграмму, которая имеет две шкалы: шкала выполняемых задач и временная шкала. В соответствии со сроком, отведенным по проекту каждой задаче, он откладывается на временной шкале [24].

В результате построения ленточного графика проведения технического проекта в диаграмме Ганта (Рис. 2), был наглядно и детально представлен перечень этапов, работ и распределение обязанностей между исполнителями проекта [24]. Данный ленточный график достаточно удобен в построении, прост в прочтении и наглядно отражает затраченное время этапы работы.

Продолжительность выполнения технического проекта заняла 12 декад, начиная со второй декады февраля и заканчивая второй декадой июня.

Продолжительность выполнения технического в календарных днях заняла 118 дней.

Общая продолжительность выполнения расчетов составила 110 рабочих дня. Из них:

108 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;
10 дней – продолжительность выполнения работ научный руководителя;

| № | Вид работ | Исполнители | T_{pi} , раб. дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | |
|----|--|--------------|---------------------------|------------------------------------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|------|---|
| | | | | Февр. | | Март | | | Апрель | | | Май | | | Июнь | |
| | | | | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 1 | Ознакомление с производственной документацией | Руководитель | 1 | - | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Дипломник | 4 | - | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия | Руководитель | 1 | | | - | | | | | | | | | | |
| | | Дипломник | 22 | - | - | - | | | | | | | | | | |
| 4 | Построение картограммы нагрузок и определение ЦЭН | Руководитель | 1 | | | | | - | | | | | | | | |
| | | Дипломник | 22 | | | | - | - | - | | | | | | | |
| 5 | Выбор трансформаторов подстанций | Руководитель | 1 | | | | | | | | - | | | | | |
| | | Дипломник | 19 | | | | | | - | - | - | | | | | |
| 6 | Расчёт внутризаводской сети предприятия | Руководитель | 1 | | | | | | | | | | | - | | |
| | | Дипломник | 5 | | | | | | | | - | | | | | |
| 7 | Моделирование эл. снабжения площадки сбора нефти | Руководитель | 1 | | | | | | | | | | | - | | |
| | | Дипломник | 17 | | | | | | | | | - | - | | | |
| 8 | Оценка эффективности полученных результатов | Руководитель | 1 | | | | | | | | | | | | - | |
| | | Дипломник | 8 | | | | | | | | | | - | - | | |
| 9 | Составление пояснительной записки | Дипломник | 8 | | | | | | | | | | | | - | |
| 10 | Проверка ВКР руководителем | Руководитель | 1 | | | | | | | | | | | | | - |
| 11 | Подготовка к защите ВКР | Руководитель | 2 | | | | | | | | | | | | | - |
| | | Дипломник | 3 | | | | | | | | | | | | | - |

Рисунок 2 – Диаграмма Ганта

5.3 Расчёт затрат на осуществление технического проекта

Целью планирования себестоимости проведения технического проекта является экономически обоснованное определение величины затрат на его выполнение. Исходными данными для расчета затрат является план работ и перечень требуемой аппаратуры, оборудования, сырья и материалов.

Затраты на осуществление технического проекта рассчитываются по следующим статьям расходов с последующим суммированием:

- расходы на оплату труда;
- отчисления во внебюджетные страховые фонды;
- расходы на материалы и комплектующие изделия;
- расходы на спецоборудование;
- накладные расходы.

5.3.1 Расчет материальных затрат технического проекта

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле [24]:

$$З_m = \sum_{i=1}^m Ц_i \times N_{расхi}$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении технического проекта;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении технического проекта;

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов.

К материальным затратам можно отнести: бумага, ручки, корректор, USB-накопитель, блокнот, степлер, скобы для степлера.

Материальные затраты, необходимые для данной работы, указаны в таблице 7.

Таблица 7 – Материальные число затраты

| Наименование | Единица измерения | Количество | Цена за ед., руб. | Затраты на материалы, руб. |
|-----------------|-------------------|------------|-------------------|----------------------------|
| Бумага | Лист | 150 | 2,5 | 375 |
| Карандаши | Шт. | 2 | 30 | 60 |
| USB накопитель | Шт. | 1 | 450 | 450 |
| Линейка | Шт. | 1 | 85 | 85 |
| Папка для бумаг | Шт. | 2 | 40 | 80 |
| Тетрадь общая | Шт. | 1 | 60 | 60 |
| Корректор | Шт. | 1 | 55 | 55 |
| Авторучка | Шт. | 1 | 70 | 70 |
| Итого: | | | | 1235 |

5.3.2 Полная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается полная заработная плата научного руководителя и студента, которая рассчитывается по формуле [24]:

$$З_{п} = З_{осн} + З_{доп},$$

где: $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле [24]:

$$З_{осн} = T_p \times З_{дн},$$

где: $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб. Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [24]:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}}}{Д_{\text{мес}}},$$

где: $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$Д_{\text{мес}}$ – количество рабочих дней, раб. дн.

Таблица 8 - Расчет основной заработной платы

| Исполнители | Оклад | Месячный основной оклад работника руб. | Средняя заработная плата работника руб. | Продолжитель ность работ, выполняемых работником раб. дн. | Основная заработная плата одного работника руб. |
|--------------|-------|--|--|---|--|
| Руководитель | 33664 | 43763 | 1683 | 10 | 16830 |
| Бакалавр | 12300 | 15990 | 615 | 108 | 66420 |
| Итого: | | | | | 83250 |

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают оплату при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [24]:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} З_{\text{осн}},$$

где: $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Таблица 9 - Расчет полной заработной платы

| Исполнители | Коэффициент дополнительной заработной платы. руб. | Основная заработная плата одного работника руб. | Дополнительная заработная плата руб. | Полная заработная плата руб. |
|--------------|--|--|--|------------------------------------|
| Руководитель | 15% | 16830 | 2470 | 19300 |
| Бакалавр | 12% | 66420 | 7980 | 74400 |
| Итого: | | | | 93700 |

5.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной разделе расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [24]:

$$З_{внеб} = K_{внеб} \times З_{полн}$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \times 93,7 = 28,3 \text{ тыс. руб}$$

5.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: амортизация активам, расходы, связанные с рекламой и т.д. Их величина составляет 16 % от общей суммы затрат на проектирование.

5.3.5 Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования сметы затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение сметы затрат на технический проект приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Смета затрат технического проекта

| Наименование разделы | Сумма, тыс. руб. | Структура затрат, % |
|---|------------------|---------------------|
| 1. Материальные расходы | 1,2 | 0,8 |
| 2. Затраты по полной заработной плате исполнителей ТП | 93,7 | 63,8 |
| 3. Отчисления во внебюджетные фонды | 28,3 | 19,4 |
| 4. Накладные расходы | 23,8 | 16,0 |
| 5. Итого | 147,0 | 100,0 |

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 108 раб. дней для дипломника и 10 раб. дней для научный руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 147 тыс.руб, из которых более половины (64%) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

5.3.6. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности определяется исходя из следующей формулы [24]:

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

1. Безопасность: обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического;

2. Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и адаптивного по конструкции техническим характеристикам электрооборудования на предприятии;

3. Помехоустойчивость: способность линии уменьшать уровень помех, создаваемых во внешней среде и на внутренних проводниках;

4. Энергосбережение: реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование топливно-энергетических ресурсов;

5. Надежность: бесперебойное снабжение электроэнергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды;

6. Материалоемкость: это показатель, который характеризует расход материалов на 1 рубль изготовленной продукции;

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 11.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности схем проводим в виде табличной формы.

Таблица 11 – Сравнительная оценка характеристик проекта

| Критерии | Весовой коэффициент | Балльная оценка разработки |
|---------------------------|---------------------|----------------------------|
| 1.Безопасность | 0,25 | 5 |
| 2.Удобство в эксплуатации | 0,10 | 5 |
| 3.Помехоустойчивость | 0,10 | 4 |
| 4.Энергосбережение | 0,15 | 5 |
| 5.Надежность | 0,25 | 4 |
| 6.Материалоемкость | 0,15 | 5 |
| Итого: | 1,00 | |

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности выбранной системы:

$$I_p = 0,25 \times 5 + 0,1 \times 5 + 0,1 \times 4 + 0,15 \times 4 + 0,25 \times 5 + 0,15 \times 4 = 4,7.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение

производительности, безопасности и экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для трех исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта по разработке электропривода на основе системы «ТРН – АД».

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства участка путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| Группа | ФИО |
|---------|--------------------------------|
| 3-5Г4Б1 | Новосельцев Вадим Владимирович |

| Школа | Инженерная школа энергетики | Отделение | ОЭЭ |
|---------------------|-----------------------------|--|------------------------------------|
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/130302 Электроэнергетика и электротехника | Электроэнергетика и электротехника |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|--|---|
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | Объектом исследования является: Регулируемый электропривод клиновой задвижки, на основе ТРН-АД. Область применения – сети магистральных трубопроводов и других объектов трубопроводного транспорта ОАО «ТРАНСНЕФТЬ» |
|--|---|

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|--|
| 1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: | - Требования федерального закона - Социальный пакет |
| 2. Производственная безопасность 2.1. Анализ потенциально возможных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения: 2.2. Анализ потенциально возможных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения: | - Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы при разработке регулируемого электропривода клиновой задвижки, на основе ТРН-АД. - механические травмы; - поражение электрическим током; - шум и вибрации; - микроклимат на рабочем месте; |
| 3. Экологическая безопасность: | - охрана окружающей среды |
| 4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: | - пожарная безопасность - устойчивость работы предприятия в чрезвычайных ситуациях. |

| | |
|--|--|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | |
|--|--|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Ст. преподаватель | Гуляев Милий Всеволодович | | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---------|--------------------------------|---------|------|
| 3-5Г4Б1 | Новосельцев Вадим Владимирович | | |

6 Социальная ответственность

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе объектом исследования является электропривод клиновой задвижки нефтепровода. Область применения – сети магистральных трубопроводов и других объектов трубопроводного транспорта ОАО «ТРАНСФЕФТЬ» Нефтепровод предназначен для перекачки больших объемов нефти от нефтепромысла к нефтеперерабатывающему предприятию. Нефтепровод, как и любая другая система, требует своевременного и качественного обслуживания. Такие механизмы, как задвижка, дают возможность выполнить эту задачу.

С помощью задвижек можно перекрыть отдельный участок нефтепровода при аварии, что предотвратит серьезные последствия и даст возможность ликвидировать эту аварию. Перекрытие в задвижках осуществляется за счет запорного элемента, перегораживающего поток.

В общем виде задвижка состоит из корпуса и крышки, которые образуют полость рабочей среды. Внутри этой полости находится элемент, который обеспечивает перекрытие потока жидкости – затвор. Крепление задвижки к корпусу осуществляется одним из трех способов: фланцевый, муфтовый и приварочный.

Внутри корпуса задвижки находятся седла, к уплотнением которых прилегает уплотнитель затвора. Таким образом, достигается максимальная герметичность закрытой задвижки. Затвор приводится в движение штоком или шпинделем. Седла таких задвижек размещены под углом. Затвор выполнен в форме клина, что обуславливает название клиновой задвижки.

С целью управления клиновой задвижкой, установленной на магистральном нефтепроводе, используется электропривод ЭПЦ-15000. Данный привод рассчитан на работу с арматурой, установленной на трубопроводах, давление которых достигает 15 МПа.

6.1.Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Сферы деятельности и специальности связаны с вредными условиями труда, указывается в постановлении РФ, должности с вредными условиями труда в нефтяной промышленности и строительстве, на меры социальной

поддержки, Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда» [38]. Люди, работающие на вредных производствах, обеспечиваются льготами и компенсациями, Трудовой кодекс РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и компенсаций». Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливаются статьей Трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия. Ежегодно на социальные программы предприятие выделяет средства на;

организация санаторно-курортного лечения, оздоровление работников и их детей, оказание медицинских услуг, развитие корпоративного спорта и культурно-массовой деятельности, материальная помощь работникам, нуждающимся в дополнительной социальной поддержке, единовременные компенсационные выплаты увольняющимся работникам в связи с выходом на пенсию, пенсионные социальные программы, предусматривающие досрочное оформление пенсии работникам; выплаты ежеквартальной материальной помощи для частичного покрытия расходов по квартплате, коммунальным услугам, единовременной материальной помощи на оплату медикаментов и т.д. Сотрудники предприятия имеют ряд социальных гарантий, а также спектр финансовых льгот, таких как социальное страхование, кредитование, материнские выплаты. Предусмотрено бесплатное обучение в ВУЗах, регулярное повышение квалификациям. К организационным мероприятиям, обеспечивающим, безопасность работ электромонтера согласно Межотраслевым правилам по охране труда относятся: инструктаж; оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации, допуск к работе, надзор во время работы, оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончание работы.

6.2 Производственная безопасность

6.2.1. Анализ выявленных опасных факторов

Опасные факторы:

Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования.

Так как речь идет о механизме задвижки, составные части которого могут совершать вращательные и поступательные движения, то существует опасность несчастного случая при неправильной эксплуатации данного механизма. Поэтому до таких работ допускается персонал, имеющий

достаточную квалификацию. Порядок проведения работ должны соответствовать [10].

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала, конструкция спроектирована таким образом, чтобы все подвижные части находились внутри корпуса.

В приложении Б показано конструктивное исполнение электропривода «ЭПЦ-15000».

Все подвижные части конструкции электропривода (шестерни, зубчатые колеса, валы, редуктор) находятся внутри корпуса. К штоку – подвижной части самой задвижки, так же нет прямого доступа. Шток закрывается кожухом. Таким образом, воздействие данного опасного фактора на обслуживающий персонал сведено к минимуму.

Электробезопасность-поражение электрическим током

Электропривод задвижки питается от источника переменного напряжения. Поэтому существует опасность поражения человека, обслуживающего данную систему, электрическим током.

Причины электротравматизма:

- недостаточная обученность, несвоевременная проверка знаний персонала, который обслуживает электроустановки;
- нарушение правил устройства, технической эксплуатации и техники безопасности электроустановок;
- неправильная организация труда;
- неправильное расположение пусковой аппаратуры и распределительных устройств, загроможденность подходов к ним;
- неисправность изоляции, из-за чего металлические токоведущие части оборудования оказываются под напряжением;

При ремонте электропривода должны соблюдаться следующие правила:

- Ремонт производить с соблюдением требований [11,12, 13];
- Электропривод должен быть надежно заземлен;
- Приступая к разборке привода, необходимо убедиться, что он отключен от сети, а в ЩСУ на автоматическом выключателе вывешена табличка с надписью «Не включать, работают люди»;
- Разборку и сборку электропривода производить только исправным штатным инструментом;

Меры по защите человека от поражения электрическим током – защитное заземление, зануление, устройство защитного отключения, средства индивидуальной защиты, блокировки, знаки и плакаты безопасности.

6.2.2 Анализ выявленных вредных факторов

Вредные факторы

Повышенный уровень шума на рабочем месте

В производственных условиях разнообразные машины, аппараты и механизмы являются агрегатами динамически неуравновешенными. Длительное систематическое воздействие шума на организм человека приводит к следующим негативным последствиям:

- снижает производительность труда;
- снижает чувствительность слуха;
- количество ошибок возрастает;
- нарушает артериальное давление и ритм сердечной деятельности.

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления. Для ориентировочной оценки (например, при проверке органами надзора, выявлении необходимости осуществления мер по шумоглушению и др.) допускается в качестве характеристики постоянного широкополосного шума на рабочих местах принимать уровень звука, значение которого приведено в ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности» [25].

Допустимый уровень звукового давления составляет 80 дБА [25]. В механических устройствах часто причинами не допустимого шума являются износ подшипников, неточная сборка деталей при ремонтах и т. п. Поэтому в процессе эксплуатации всех видов машин и механизмов следует точно выполнять все требования Правил технической эксплуатации. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. «Средства и методы защиты от шума. Квалификация» [26]. предусматривает следующие меры для снижения уровня шума:

- устройство кратковременных перерывов в работе.
- установка в помещениях звукопоглощающих конструкций и экранов.
- применение средств индивидуальной защиты (беруши, противοшумные наушники, шлемофоны и др.).

Вывод: Условия труда по шумовому фактору соответствуют нормам СОУТ [38].

Повышенный уровень вибрации

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием СН 2.2.4/2.1.8.556-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [27].

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния

организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда.

Физические вибрации характеризуются частотой (Гц, 1/с), амплитудой виброперемещения (м), виброскоростью и виброускорением.

Таблица 12 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест

| Вид вибрации: Технологическая | Среднегеометрические частоты, Гц. | | | | | |
|--|-----------------------------------|-----|-----|-----|------|-----|
| | 2 | 4 | 8 | 16 | 32,5 | 63 |
| Предельно допустимые значения виброскорости, дБ | 108 | 99 | 93 | 92 | 92 | 92 |
| Предельно допустимые значения виброускорения, дБ | 103 | 100 | 100 | 106 | 112 | 110 |

Вибрацию в рассматриваемом помещении (площадке) можно наблюдать при работе большинства оборудования. Для снижения уровня вибрации производится тщательное наблюдение за узлами оборудования, и в случае необходимости, настройка оборудования и замена изношенных частей установки, виброизоляция, применение динамических виброгасителей, уравнивание, балансировка, жесткое присоединение агрегата к фундаменту большой массы. Применение средств индивидуальной защиты: рукавицы с прокладкой на ладонной поверхности и обувь на толстой мягкой подошве.

Вывод: Условия труда по воздействию вибрации соответствуют нормам СОУТ [38].

Микроклимат на рабочем месте

Для обеспечения нормальных условий труда персонала немаловажную роль играет микроклимат, т.е. факторы производственной среды, влияющие на физическое и эмоциональное состояние человеческого организма. Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [22].

Человек постоянно находится в процессе теплового взаимодействия с окружающей средой. Для того чтобы физиологические процессы в его организме протекали нормально, тепло должно отводиться в окружающую среду. В нормальных условиях у человека не возникает беспокоящих его тепловых ощущений – перегрева или переохлаждения. Оптимальные показатели микроклимата распространяются на всю рабочую зону, допустимые показатели устанавливаются дифференцировано для постоянных и непостоянных рабочих мест.

Допустимые макроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьми часовой рабочей смены. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенные в таблице 13 [22].

Таблица 13 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

| Пе | Кате | Температ | | Темпе | Относ | Скорость движения | |
|----|------|----------|----------|-------|-------|-------------------|-----------|
| | | Диапазон | Диапазон | | | Для | Для |
| Хо | Па | пониже | выше | | | диапазона | диапазона |
| Хо | Па | 17 | 21 | 16-24 | 15-75 | 0,1 | 0,3 |
| Те | Па | 18 | 22 | 17-28 | 15-75 | 0,1 | 0,4 |

Мероприятия по созданию условий для нормальной терморегуляции организма:

- механизация и автоматизация производств.
- теплоизоляция и экранизация.
- естественная вентиляция, кратковременные перерывы в работе, спецодежда.

Вывод: Условия труда по воздействию микроклимата соответствуют нормам СОУТ [38].

6.3 Экологическая безопасность

Нефтепровод – самый дешевый, надежный и выгодный способ транспортировки нефти и нефтепродуктов. Также этот способ является наиболее экологически безопасным.

Возможность утечки нефти в окружающую среду (гидросферу, литосферу) появляется при повреждении определенного участка нефтепровода. Система задвижек, установленная по всей длине нефтепровода на определенном расстоянии друг от друга, помогает минимизировать утечку нефти в окружающую среду. Происходит это путем перекрытия поврежденного участка нефтепровода. Электропривод, установленный на задвижках, имеет возможность дистанционного управления, что позволяет перекрыть нефтепровод при минимальных затратах времени. Таким образом, электропривод задвижки позволяет сделать транспортировку нефти максимально безопасной для окружающей среды. Мероприятия по экологической безопасности регламентируются ГОСТ 17.1.3.13-86. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования охране поверхностных вод от

загрязнений» [30], СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» [31], ГН 2.2.5.2308-07. «Ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [32].

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации. Основные причины и ликвидация последствий
Мероприятия по безопасности и защите населения и территорий регламентируются ГОСТ Р 22.0.07-95 «Безопасность в ЧС. Источники техногенных ЧС. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров», ФЗ от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера» [33], ГОСТР 22.3.03-94. «Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения» [34]. К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, катастрофы, пожары, стихийные бедствия. К стихийным бедствиям обычно относят землетрясения, наводнения, селевые потоки, оползни и др. [33].

6.4.1. Пожаро- взрывобезопасность

Вероятной чрезвычайной ситуацией при работе электропривода задвижки может стать пожар или взрыв. Опасность возникновения пожара или взрыва связана с наличием нефти и ее паров на месте работы электропривода задвижки. Потенциальное короткое замыкание в электроприводе может спровоцировать пожар или взрыв.

Предотвратить подобные ситуации помогает конструктивное исполнение составных частей электропривода (электродвигатель ДАТЭК-350-03 и блок управления «БУР-15,0»). Пожара и взрывобезопасность обеспечивается заключением электрических частей во взрывонепроницаемую оболочку, выдерживающую давление взрыва внутри нее и исключающую передачу взрыва в окружающую взрывоопасную среду. Также в данном электроприводе используется искробезопасная электрическая цепь, что существенно снижает риск возникновения пожара или взрыва при эксплуатации данного электропривода.

Действия обслуживающего персонала при возникновении подобных ситуаций должны соответствовать требованиям [40].

3.2 Действия персонала, обслуживающего нефтепровод должны соответствовать [41].

При получении сообщения об аварии на нефтепроводе или обнаружении каких-либо признаков такой аварии, оператор должен сообщить об этом диспетчеру РДП, РНУ (УМН) и начальнику РНУ, НПС.

Аварийно-восстановительные службы, обходчики нефтепроводов при осмотре трассы нефтепровода и обнаружении нарушения целостности нефтепровода должны:

- сообщить о нарушении целостности нефтепровода оператору НПС и диспетчеру РДП;
- продублировать сообщение по радию или телефону с ближайшей (НПС);
- начать устранение аварии, действуя согласно ПЛА.

При облете трассы и обнаружении целостности нефтепровода летный наблюдатель или бортовой оператор должны:

- сообщить диспетчеру РНУ (УМН) об обнаруженном месте нарушения целостности нефтепровода;
- сделать круг над ближайшей (НПС) и сбросить вымпел с сообщением об обнаружении нарушения целостности нефтепровода;
- продублировать свое сообщение диспетчеру РДП с ближайшего аэропорта;
- находиться на связи в ожидании указаний диспетчера РДП.

Руководитель РНУ, на участке которого произошла авария, при получении сообщения об аварии, должен сообщить руководству РНУ (УМН), взять на себя руководство по ликвидации аварии до прибытия на место аварии руководителя работ от РНУ (УМН) или ответственного руководителя по ликвидации аварии, назначенного приказом по ОАО МН.

Диспетчер РДП, получив сообщение об аварии, обязан:

- отключить аварийный участок в режиме телеуправления в соответствии с Регламентом действия оперативного персонала при аварийных ситуациях;
- немедленно сообщить об аварии руководству РНУ (УМН), начальнику ЦРС (СУПЛАВ), диспетчеру ОАО МН, диспетчеру связи ПТУС;
- обеспечить выезд аварийно-восстановительной бригады, патрульной группы. Диспетчер ОАО МН, получив известие об аварии, обязан:
- немедленно уведомить о возникновении аварии генеральному директору ОАО МН, его заместителям, руководству ПТУС, диспетчеру ОАО "АК "Транснефть" по форме указанной в Регламенте представления срочных донесений об авариях и отказах на магистральных нефтепроводах, НПС и РП и их учет согласно [39].

Заключение

Целью данной работы является исследование таких динамических режимов работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, как пуск и динамическое торможение.

Для достижения поставленных целей была создана модель системы ТРН - АД в программной среде MATLABSimulink. Основой модели является блок «S-Function Builder», который позволяет пользователю интегрировать внешний код С в модель Simulink, что позволяет значительно расширить возможности стандартной библиотеки MATLAB.

В качестве математического описания асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором была выбрана трехфазная модель идеализированной обобщенной машины. Данный выбор был сделан исходя из того, что трехфазная модель наиболее точно описывает поведение АД в динамических режимах работы.

В данной работе был выбран электропривод «ЭПЦ – 15000», который предназначен для дистанционного и местного управления запорной арматурой магистральных нефтепроводов. Данный электропривод комплектуется асинхронным двигателем «ДАТЭК – 350.03», параметры которого были взяты за основу построенной модели.

Смоделированный процесс пуска АД вхолостую показал преимущества использования системы ТРН – АД. А именно значительное снижение пусковых токов и моментов двигателя, что значительно экономит ресурс электрической и механической частей электропривода.

В качестве тормозного режима был выбран режим динамического торможения, так как такой метод является самым эффективным для остановки АД.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства участка путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

Список используемой литературы

1. Строительные нормы и правила: СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы. – введен 01.07.2013. - М.: Госстрой, ФАУ "ФЦС", 2013.
2. ГОСТ Р 55020-2012. Арматура трубопроводная. – введен 01.03.2012. - М.: Стандартиформ, 2013.
3. ЭкспертТруб [Электронный ресурс]: все про сантехнику и трубы. – Режим доступа: <http://experttrub.ru>
4. Москаленко В.В.. Электрический привод: Учеб. пособие для сред. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 368 с.
5. Руководство по эксплуатации «ЭПЦ-15000». – Томск.: Томский завод электроприводов, 2013. – 25 с.
6. Алиев Р.А., Белоусов В.Д., Немудров А.Г. и др. Трубопроводный транспорт нефти и газа: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1988.. – 368 с.
7. Руководство по эксплуатации «Блок управления регулируемый БУР». – Томск.: ЭлеСи, 2013. – 25 с.
8. Копылов И.П.. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.
9. Однокопылов И.Г., Асинхронный электропривод механизма подъема крана мостового типа с повышенной безопасностью и живучестью: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : спец. 05.09.03 / И. Г. Однокопылов; Томский политехнический университет (ТПУ), Электротехнический институт (ЭЛТИ), Кафедра электропривода и электрооборудования ; науч. рук. Ю. Н. Дементьев. — Электронные текстовые данные (1 файл : 950 Kb). — Томск, 2008.
10. РД-75.000.00-КТН-085-12 «Руководство по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и сооружений нефтеперекачивающих станций»;
11. «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТЭЭП);
12. ГОСТ Р 51330.18 «Ремонт и проверка электрооборудования используемого во взрывоопасных газовых средах (кроме подземных

выработок или применений, связанных с переработкой и производством взрывчатых веществ)»;

13. ГОСТ Р 52350.19 «Ремонт, проверка и восстановление электрооборудования»;

14. Правила устройства электроустановок (ПУЭ);

15. Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда»;

16. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация. Вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»;

17. СН 2.2.4/2.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»;

18. РД 153-39.4-114-01 «Правила ликвидации аварий и повреждений на магистральных нефтепроводах»;

19. РД 39-00147105-006-97 «Инструкция по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов»;

20. РД 153-39.4-056-00 «Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов»;

21. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.

22. Большаков С.В., Финансы предприятий: теория и практика учебник для вузов. – М.: Кн. Мир 2006. – 617 с.

23. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.

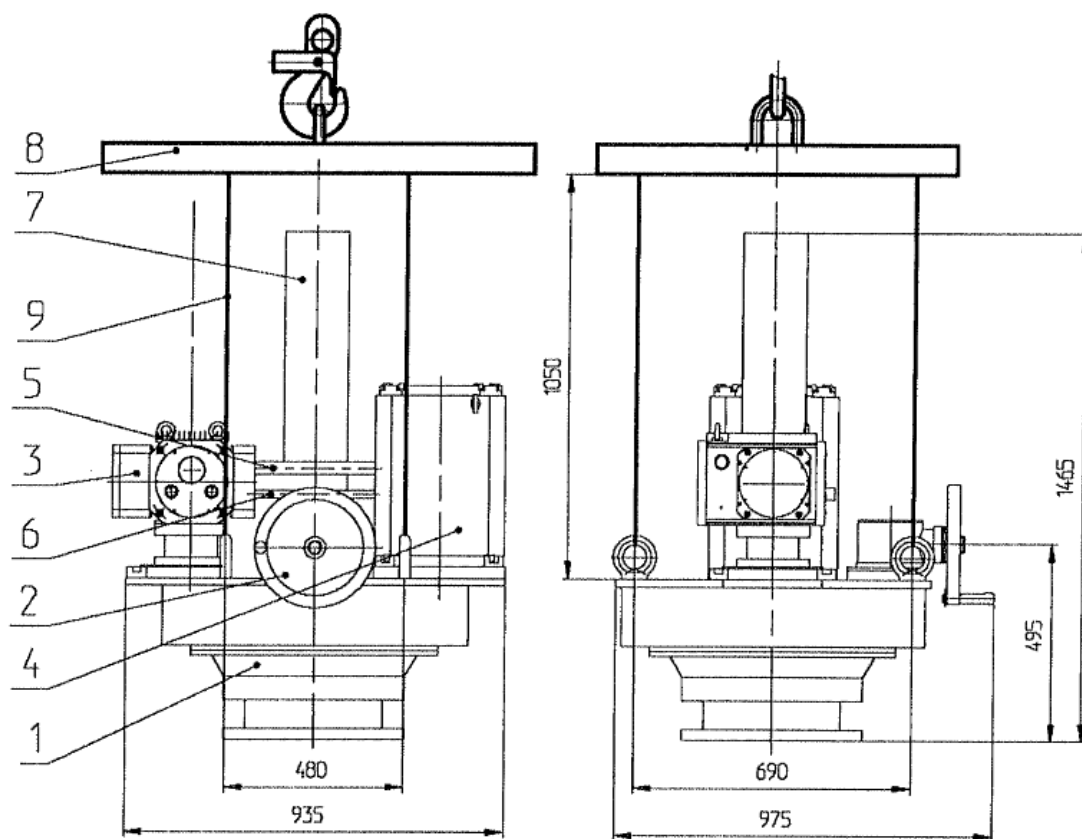
24. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Технико-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.

25. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-возкон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.

26. Строительные нормы и правила: СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы. – введен 01.07.2013. - М.: Госстрой, ФАУ "ФЦС", 2013.
27. ГОСТ Р 55020-2012. Арматура трубопроводная. – введен 01.03.2012. -М.: Стандартиформ, 2013.
28. ЭкспертТруб [Электронный ресурс]: все про сантехнику и трубы. –Режим доступа: <http://experttrub.ru>
29. Москаленко В.В. Электрический привод: Учеб. пособие для сред.проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 368 с.
30. Руководство по эксплуатации «ЭПЦ-15000». – Томск: Томский завод электроприводов, 2013. – 25 с.
31. Алиев Р.А., Белоусов В.Д., Немудров А.Г. и др. Трубопроводный транспорт нефти и газа: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1988.. – 368 с.
32. Руководство по эксплуатации «Блок управления регулируемый БУР».– Томск.: ЭлеСи, 2013. – 25 с.
33. Копылов И.П.. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.

Приложение А

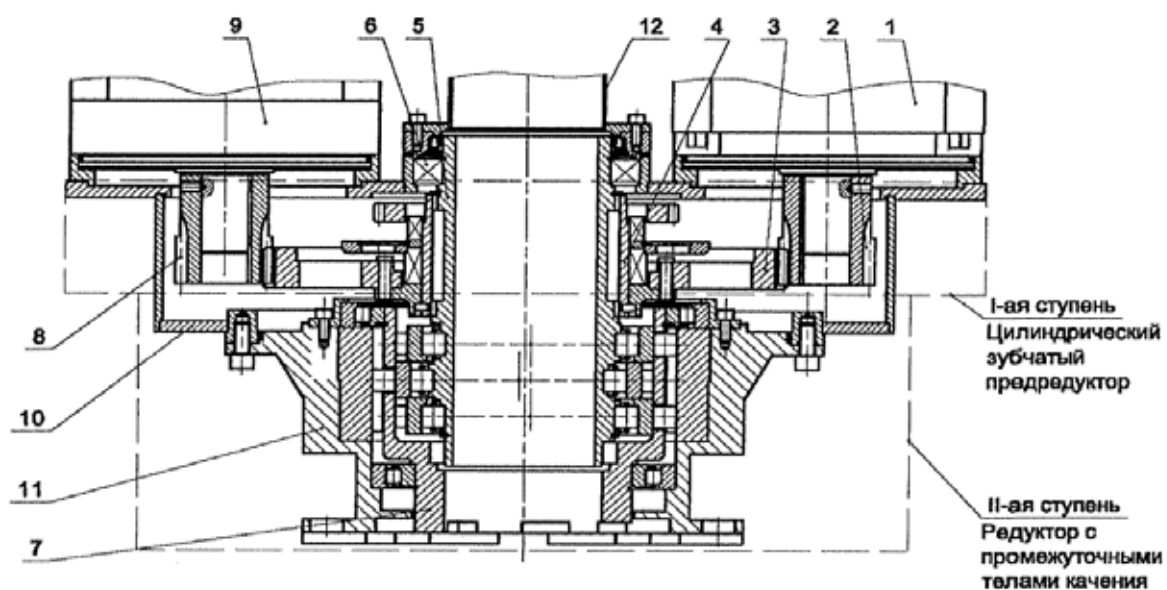
Общий вид электропривода «ЭПЦ-15000» со схемой строповки



1 – редуктор; 2 – привод ручного дублера; 3 – блок управления регулируемый «БУР»; 4 – асинхронный электродвигатель; 5, 6 – электрические кабели в защитной оболочке; 7 – колпак защитный; 8 – траверса для монтажа/демонтажа (грузоподъемностью до 3 т); 9 – стропы монтажные в составе траверсы

Приложение Б

Конструктивное исполнение электропривода «ЭПЦ-15000»



1 – электродвигатель; 2 – шестерня; 3 – зубчатое колесо; 4 –
ограничитель; 5 – входной вал редуктора II ступени; 6 – толкатель; 7 –
выходной вал; 8 – шестерня; 9 – блок управления регулируемый; 10 – корпус;
11 – редуктор; 12 – кожух